

血必净注射液中苯甲酸热动力学规律及其变化机制研究

孙明珍, 闫旭, 张海燕, 齐怀丰, 陆小中, 张松梅*
(天津红日药业股份有限公司, 天津 301700)

摘要: **目的** 考察血必净注射液中苯甲酸热动力学规律及其变化机制。**方法** HPLC法测定热处理前后不同温度、时间下苯甲酸含量, 单萜类成分降解实验探究其生成路径。**结果** 血必净注射液受热后, 苯甲酸含量变化符合零级动力学规律, 在相同条件下该成分热处理后的稳定性高于热处理前。单萜类成分受热降解是苯甲酸主要来源, 其中芍药苷贡献最大。**结论** 调整血必净注射液热处理过程中的温度和时间可控制苯甲酸含量, 从而为相关生产工艺提供动力学模型支持。

关键词: 血必净注射液; 苯甲酸; 热动力学规律; 变化机制; HPLC

中图分类号: R969.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-1528(2026)05-1473-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2026.05.007

Thermodynamic rules and their changing mechanisms of benzoic acid in Xuebijing Injection

SUN Ming-zhen, YAN Xu, ZHANG Hai-yan, QI Huai-feng, LU Xiao-zhong, ZHANG Song-mei*
(Tianjin Chasesun Pharmaceutical Co., Ltd., Tianjin 301700, China)

KEY WORDS: Xuebijing Injection; benzoic acid; thermodynamic rules; changing mechanisms; HPLC

血必净注射液是经现代工艺精制而成的中药注射剂, 临床治疗脓毒症和多器官功能障碍综合征^[1]时疗效显著。研究表明, 血必净注射液可通过抗炎、抗内毒素^[2-3]等机制来降低病死率^[4], 并且对神经、免疫、心血管系统^[5-7]有调节作用。

苯甲酸是赤芍天然成分^[8], 也是血必净注射液限量物质, 长期过量摄入可能诱发过敏反应、干扰钙与维生素吸收等潜在风险^[9]。国际食品添加剂联合专家委员会(JECFA)建议, 苯甲酸每日允许摄入量为0~5 mg/kg^[10], 但为了保障用药安全, 血必净注射液质量标准上限为其20%。另外, 苯甲酸是羧基直接与苯环碳原子连接的最简单芳香酸^[11], 具有芳香性和羧酸的双重性质^[12]。

蒲位凌等^[13]发现, 血必净注射液受热后芍药苷降解速率随温度升高而加快, 呈现一级动力学规律。芍药苷、苯甲酸芍药苷、没食子酰芍药苷、氧化芍药苷、芍药内酯苷既是赤芍单萜类活性成分^[14-17], 也是血必净注射液有效物质^[18-20], 并且

它们均含有苯甲酰基, 受热时可发生断裂而生成苯甲酸^[21-22]。因此, 本实验考察不同温度、时间下血必净注射液在热处理前后的苯甲酸动力学规律, 以及赤芍中单萜苷类活性成分受热向苯甲酸转化的比例, 旨在为相关工艺合理性提供数据支撑, 巩固该制剂“工艺-质量-安全”三位一体的质量控制体系, 为其临床安全应用提供保障。

1 材料

1.1 仪器 Waters e2695-2489型高效液相色谱仪(美国Waters公司); XS105DU型电子天平(瑞士梅特勒-托利多公司); DK-98-11型电热恒温水浴锅(天津市泰斯特仪器有限公司)。

1.2 试剂与药物 血必净注射液(天津红日药业股份有限公司, 批号2411061)。芍药苷(批号110736-202447)、苯甲酸(批号100419-201703)对照品均购自中国食品药品检定研究院; 苯甲酰芍药苷(批号17890-G250201)、芍药内酯苷(批号20287-G250201)、没食子酰芍药苷(批号18356)

收稿日期: 2025-09-11

基金项目: 天津市科技计划项目(24ZXZKSY00050)

作者简介: 孙明珍(1978—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事中药注射液质量控制及其评价研究。E-mail: s.mz@163.com

*通信作者: 张松梅(1977—), 女, 高级工程师, 从事中药注射液质量控制及其评价研究。E-mail: songmeibox@sina.cn

对照品均购自上海诗丹德标准技术服务有限公司；氧化芍药苷对照品（批号 DM25021109）购自广州隽沐生物科技有限公司。甲醇、乙腈均为色谱纯（美国 Fisher 公司）；冰醋酸、36% 乙酸均为分析纯（天津市科密欧化学试剂有限公司）；水为纯净水（杭州娃哈哈集团有限公司）。

2 方法与结果

2.1 苯甲酸含量测定 采用 HPLC 法。

2.1.1 色谱条件 Waters C₁₈ 色谱柱（4.6 mm×250 mm，5 μm），填充剂十八烷基硅烷键合硅胶；流动相甲醇-水-醋酸（30：70：0.5）；体积流量 0.7 mL/min；柱温 40 ℃；检测波长 230 nm；进样量 10 μL，色谱图见图 1。

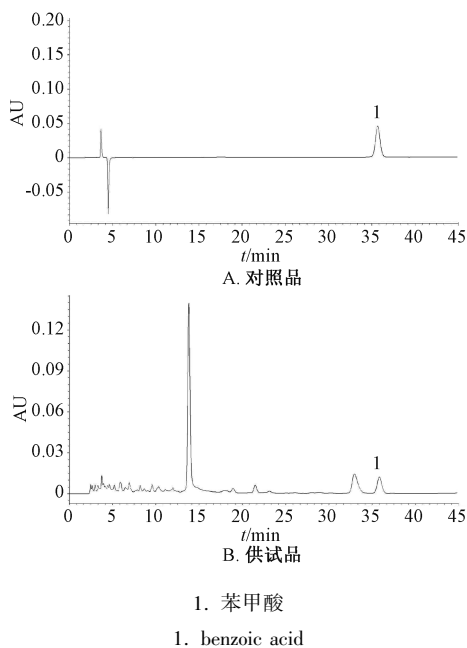


图 1 苯甲酸 HPLC 色谱图

Fig. 1 HPLC chromatograms of benzoic acid

2.1.2 对照品溶液制备 取苯甲酸对照品约 10 mg，精密称定，置于 10 mL 量瓶中，50% 甲醇稀释至刻度，作为储备液，精密量取 1 mL，置于 100 mL 量瓶中，50% 甲醇定容至刻度，即得。

2.1.3 供试品溶液制备 精密量取本品 0.5 mL，置于 10 mL 量瓶中，50% 甲醇稀释至刻度，摇匀，即得。

2.1.4 专属性试验 取空白溶剂（50% 甲醇）及对照品、供试品溶液适量，在“2.1.1”项色谱条件下进样测定。结果，空白溶剂在目标成分出峰位置无干扰峰，对照品溶液中主要色谱峰峰形理想，供试品溶液中苯甲酸、对照品色谱峰保留时间一致，表明该方法专属性良好。

2.1.5 线性关系考察 分别精密量取储备液 0.5、1、2、4、6、8、10 mL，置于 10 mL 量瓶中，50% 甲醇稀释至刻度，在“2.1.1”项色谱条件下进样测定。以对照品峰面积为纵坐标（Y），质量浓度为横坐标（X）进行回归，得方程为 $Y = 81\ 854X - 95$ ($r = 0.999\ 9$)，在 0.05 ~ 1.0 mg/mL 范围内线性关系良好。

2.1.6 精密度试验 取对照品溶液适量，在“2.1.1”项色谱条件下进样测定 6 次，测得苯甲酸峰面积 RSD 为 0.2%，表明仪器精密度良好。

2.1.7 重复性试验 按“2.1.3”项下方法平行制备 6 份供试品溶液，在“2.1.1”项色谱条件下进样测定，测得苯甲酸含量 RSD 为 0.9%，表明该方法重复性良好。

2.1.8 稳定性试验 取同一份供试品溶液，于 0、2、4、8、12、24 h 在“2.1.1”项色谱条件下进样测定，测得苯甲酸峰面积 RSD 为 1.0%，表明溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.1.9 加样回收率试验 精密量取苯甲酸含量已知的本品 6 份，每份 0.5 mL，按 100% 水平精密加入对照品溶液，置于 10 mL 量瓶中，50% 甲醇定容至刻度，摇匀，在“2.1.1”项色谱条件下进样测定，计算回收率。结果，苯甲酸平均加样回收率为 100.34%，RSD 为 0.52%。

2.2 热处理前热动力学研究 取热处理前（即灌封后受热前）样品 6 份，置于恒温水浴锅中，采用温度计对药液实际温度进行测量，待其达到水浴温度时按表 1 方案进行取样，常温流动自来水迅速降温。再以苯甲酸剩余质量浓度（ $C_t - C_0$ ）对时间（ t ）作图，结果见图 2。

表 1 不同温度、时间考察因素

Tab. 1 Investigation factors of different temperatures and time

| 温度/℃ | 时间/h | | | | | | | | |
|------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 65 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 75 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 80 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 85 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 90 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 95 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |

由此可知，苯甲酸质量浓度增加符合零级动力学。再以时间为横坐标（X），剩余质量浓度为纵坐标（Y）进行拟合，结果见表 2。

2.3 热处理后热动力学研究 取 6 份热处理后（即灌封后受热后）样品，按“2.2”项下方法制

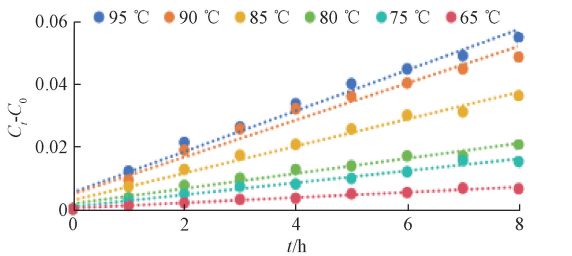


图2 热处理前苯甲酸剩余质量浓度与时间的关系
Fig. 2 Relationship between remaining concentration of benzoic acid and time before heat treatment

表2 热处理前苯甲酸零级动力学拟合结果

Tab. 2 Results for zero-order kinetic fitting of benzoic acid before heat treatment

| 温度/°C | 方程 | k | r |
|-------|--------------------------|----------|---------|
| 65 | $Y=0.000\ 84X+0.000\ 23$ | 0.000 84 | 0.990 3 |
| 75 | $Y=0.001\ 91X+0.000\ 68$ | 0.001 91 | 0.990 1 |
| 80 | $Y=0.002\ 40X+0.001\ 65$ | 0.002 40 | 0.986 1 |
| 85 | $Y=0.004\ 30X+0.002\ 75$ | 0.004 30 | 0.991 3 |
| 90 | $Y=0.005\ 88X+0.004\ 72$ | 0.005 88 | 0.983 9 |
| 95 | $Y=0.006\ 50X+0.005\ 21$ | 0.006 50 | 0.988 7 |

备样品溶液并作图, 结果见图3。

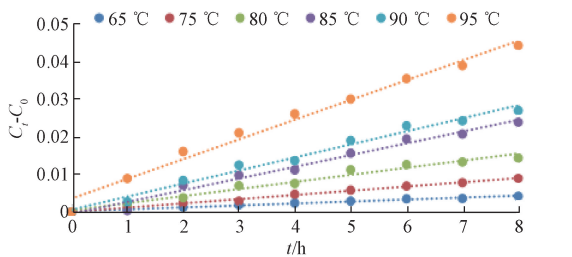


图3 热处理后苯甲酸剩余质量浓度与时间的关系
Fig. 3 Relationship between remaining concentration of benzoic acid and time after heat treatment

由此可知, 苯甲酸质量浓度增加符合零级动力学。再以时间为横坐标 (X), 剩余质量浓度为纵坐标 (Y) 进行拟合, 结果见表3。

表3 热处理后苯甲酸零级动力学拟合结果

Tab. 3 Results for zero-order kinetic fitting of benzoic acid after heat treatment

| 温度/°C | 方程 | k | r |
|-------|--------------------------|----------|---------|
| 65 | $Y=0.000\ 52X+0.000\ 19$ | 0.000 52 | 0.993 4 |
| 75 | $Y=0.001\ 12X+0.000\ 05$ | 0.001 12 | 0.997 5 |
| 80 | $Y=0.001\ 88X+0.000\ 45$ | 0.001 88 | 0.987 5 |
| 85 | $Y=0.003\ 11X-0.000\ 45$ | 0.003 11 | 0.990 8 |
| 90 | $Y=0.003\ 47X+0.000\ 62$ | 0.003 47 | 0.992 1 |
| 95 | $Y=0.005\ 24X+0.003\ 55$ | 0.005 24 | 0.992 2 |

2.4 热处理前后热动力学比较

2.4.1 表观速率常数 k 根据表2~3结果, 以 k 对温度作图, 结果见图4。由此可知, 在相同温度

下热处理前 k 比热处理后的更高, 并且热处理前它随温度增加的程度更明显。

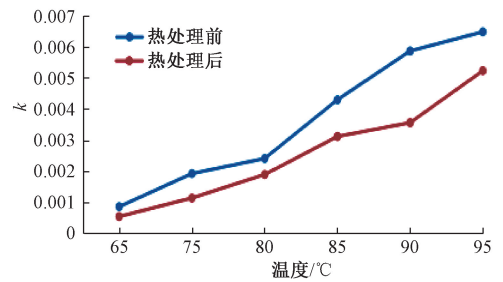


图4 热处理前后 k 比较

Fig. 4 Comparison of k before and after heat treatment

2.4.2 活化能 根据热处理前后热动力学曲线及 Arrhenius 方程 $\ln k = \ln A - E_a/RT$, 构建以热力学温度倒数为横坐标 (X), k 自然对数为纵坐标 (Y) 的方程, 结果见表4。由此可知, 热处理后活化能高于热处理前的。

表4 热处理前后活化能比较

Tab. 4 Comparison of activation energies before and after heat treatment

| 时间 | Arrhenius 方程 | r | 活化能/($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$) |
|------|-----------------------|---------|---|
| 热处理前 | $Y=-8\ 885.2X+19.225$ | 0.990 5 | 73.87 |
| 热处理后 | $Y=-9\ 649.2X+20.992$ | 0.992 9 | 80.22 |

2.5 各成分含量变化机制研究

2.5.1 含量测定 采用 HPLC 法。

2.5.1.1 色谱条件 Agilent SB C_{18} 色谱柱 (4.6 mm \times 250 mm, 5 μm), 填充剂十八烷基键合硅胶; 流动相乙腈-甲醇-冰乙酸 (60 : 40 : 0.5) (A) - 0.5% 冰乙酸 (B), 梯度洗脱, 程序见表5; 体积流量 1 mL/min; 柱温 40 $^{\circ}\text{C}$; 检测波长 280 nm。

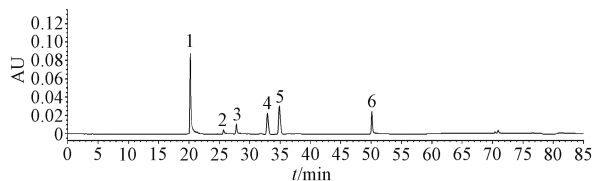
表5 梯度洗脱程序

Tab. 5 Gradient elution programs

| 时间/min | A [乙腈-甲醇-冰乙酸 (60 : 40 : 0.5)]/% | B 0.5% 冰乙酸/% |
|--------|---------------------------------|--------------|
| 0 | 3 | 97 |
| 5 | 3 | 97 |
| 50 | 45 | 55 |
| 55 | 45 | 55 |
| 60 | 75 | 25 |
| 75 | 75 | 25 |
| 76 | 3 | 97 |
| 85 | 3 | 97 |

2.5.1.2 对照品溶液制备 取芍药苷、苯甲酸芍药苷、没食子酰芍药苷、芍药内酯苷、氧化芍药苷对照品适量, 置于 10 mL 量瓶中, 加入纯化水, 制成 2 mg/mL 储备液 I; 取苯甲酸对照品适量, 同法制成 1 mg/mL 储备液 II。分别精密量取贮备液

I 0.5 mL、贮备液 II 1 mL，置于 10 mL 量瓶中，纯化水稀释至刻度，摇匀，即得，色谱图见图 5。



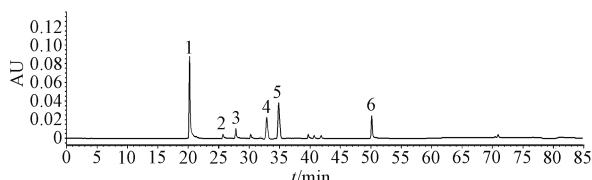
1. 氧化芍药苷 2. 芍药内酯苷 3. 芍药苷 4. 没食子酰芍药苷
5. 苯甲酸 6. 苯甲酰芍药苷
1. oxypaeoniflorin 2. albiflorin 3. paeoniflorin
4. galloylpaeoniflorin 5. benzoic acid 6. benzoylpaeoniflorin

图 5 各成分降解前 HPLC 色谱图

Fig. 5 HPLC chromatogram of various constituents before degradation

2.5.1.3 专属性试验 空白干扰试验：取空白溶剂（超纯水）、对照品溶液适量，在“2.5.1.1”项色谱条件下进样测定。结果，空白溶剂在目标成分出峰位置无干扰，对照品溶液中各成分色谱峰峰形良好，分离度均大于 1.5。

降解试验：取对照品溶液适量，在 100 °C 下加热 8 h，在“2.5.1.1”项色谱条件下进样测定，结果见图 6。由此可知，各成分降解物对目标化合物检测无干扰。



1. 氧化芍药苷 2. 芍药内酯苷 3. 芍药苷 4. 没食子酰芍药苷
5. 苯甲酸 6. 苯甲酰芍药苷
1. oxypaeoniflorin 2. albiflorin 3. paeoniflorin
4. galloylpaeoniflorin 5. benzoic acid 6. benzoylpaeoniflorin

图 6 各成分降解后 HPLC 色谱图

Fig. 6 HPLC chromatogram of various constituents after degradation

2.5.1.4 线性关系考察 精密量取苯甲酸对照品溶液适量，纯化水依次稀释至 0.001、0.005、0.01、0.04、0.06、0.1 mg/mL；精密量取芍药苷、苯甲酰芍药苷、没食子酰芍药苷、芍药内酯苷、氧化芍药苷对照品溶液适量，纯化水依次稀释至 0.1、0.5、1.0、1.5、2、2.5 mg/mL，在“2.5.1.1”项色谱条件下进样测定。以对照品峰面积为纵坐标 (Y)，质量浓度为横坐标 (X) 进行回归，结果见表 6，可知各成分在各自范围内线性关系良好。

2.5.1.5 重复性试验 取对照品溶液适量，在

表 6 各成分线性关系

Tab. 6 Linear relationships of various constituents

| 成分 | 回归方程 | r | 线性范围/ (mg·mL ⁻¹) |
|---------|--------------------------|---------|---------------------------------|
| 苯甲酸 | $Y=1\ 519\ 354X+975$ | 0.999 6 | 0.001~0.10 |
| 芍药苷 | $Y=831\ 950X+8\ 529$ | 0.999 7 | 0.10~2.50 |
| 苯甲酰芍药苷 | $Y=1\ 808\ 359X+4\ 951$ | 0.999 7 | 0.10~2.50 |
| 没食子酰芍药苷 | $Y=9\ 880\ 699X-66\ 051$ | 0.999 6 | 0.10~2.50 |
| 芍药内酯苷 | $Y=520\ 045X-4\ 057$ | 0.999 3 | 0.10~2.50 |
| 氧化芍药苷 | $Y=518\ 078X+4\ 848.5$ | 0.998 7 | 0.10~2.50 |

“2.5.1.1”项色谱条件下进样测定 6 次，测得苯甲酸、芍药苷、苯甲酰芍药苷、没食子酰芍药苷、芍药内酯苷、氧化芍药苷峰面积 RSD 分别为 0.8%、1.4%、1.6%、0.8%、0.6%、0.5%，表明该方法重复性良好。

2.5.1.6 稳定性试验 取对照品溶液适量，于 0、2、4、8、12、24 h 在“2.5.1.1”项色谱条件下进样测定，测得苯甲酸、芍药苷、苯甲酰芍药苷、没食子酰芍药苷、芍药内酯苷、氧化芍药苷峰面积 RSD 分别为 1.5%、1.0%、0.4%、0.7%、1.0%、1.1%，表明溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.5.2 结果分析 在 100 °C 下随着加热时间延长，芍药苷、苯甲酰芍药苷、没食子酰芍药苷、芍药内酯苷、氧化芍药苷含量呈降低趋势，苯甲酸含量呈升高趋势，见图 7。

2.5.3 苯甲酸与单萜类成分转化分析 表 7 显示，加热 8 h 后芍药苷对照品溶液中苯甲酸生成量与芍药苷降解量的比例接近理论值 1 : 1，表明芍药苷中的苯甲酰基在高温条件下几乎完全水解成苯甲酸；苯甲酰芍药苷、没食子酰芍药苷、氧化芍药苷、芍药内酯苷对照品溶液中苯甲酸生成量与各成分降解量的比例均低于 0.3，提示其降解路径复杂，推测苯甲酰基可能未完全水解或涉及其他降解路径（如氧化、内酯环重组等），并且虽然它们在高温下转化为苯甲酸的效率较低，但其受热降解过程对苯甲酸生成仍起到不可忽略的作用。

3 讨论与结论

本实验发现，随着温度升高和时间延长，苯甲酸生成速率增加；血必净注射液在热处理前后表现出不同的动力学特征，这是由于其物质基础不一致所致，即热处理后部分成分已在工序中发生降解，导致苯甲酸稳定性更高。另外，在 100 °C 下血必净注射液中芍药苷、苯甲酰芍药苷、没食子酰芍药苷、芍药内酯苷、氧化芍药苷均可降解生成苯甲酸，但其贡献率存在差异，其中芍药苷是苯甲酸生成的主要来源，而其他 4 种单萜类成分降解路径更

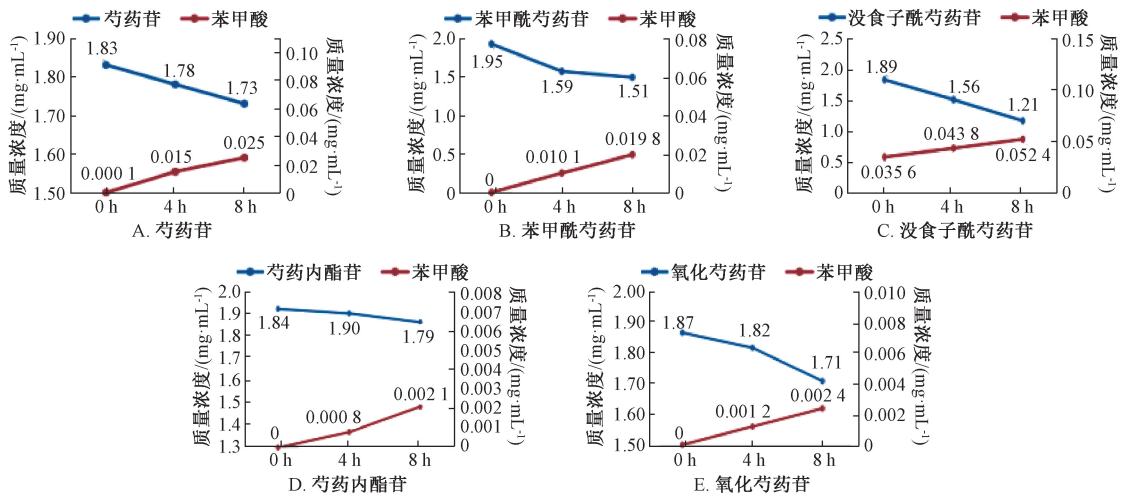


图7 各成分降解变化趋势

Fig. 7 Changing trends of degradation of various constituents

表7 苯甲酸与单萜类成分转化结果

Tab. 7 Results for conversion of benzoic acid and monoterpenoids

| 单萜类成分 | 降解浓度/ (mol·L ⁻¹) | 苯甲酸生成浓度/ (mol·L ⁻¹) | 比值 |
|---------|---------------------------------|------------------------------------|------|
| 芍药苷 | -2.1×10 ⁻⁴ | 2.0×10 ⁻⁴ | 0.96 |
| 苯甲酰芍药苷 | -7.7×10 ⁻⁴ | 1.7×10 ⁻⁴ | 0.21 |
| 没食子酰芍药苷 | -9.0×10 ⁻⁴ | 1.4×10 ⁻⁴ | 0.15 |
| 氧化芍药苷 | -9.8×10 ⁻⁵ | 1.6×10 ⁻⁵ | 0.16 |
| 芍药内酯苷 | -2.2×10 ⁻⁴ | 2.0×10 ⁻⁵ | 0.09 |

注：比值=苯甲酸生成浓度/单萜类成分降解浓度。

复杂，转化为苯甲酸的量更少。

综上所述，本实验明确血必净注射液受热后苯甲酸的规律及各单萜类成分的定量贡献，为阐明该成分稳定性提供了依据。同时，基于苯甲酸动力学规律能推动血必净注射液制备工艺改进，同时可对不同温度、时间下该成分含量进行预测。

参考文献：

[1] 吴昊. 连续血液净化联合血必净治疗脓毒症伴多器官衰竭的疗效观察[J]. 医学理论与实践, 2022, 35(7): 1136-1138.
 [2] 许睿婕, 罗小星. Presepsin 在评估血必净注射液抗炎疗效中的应用[J]. 中成药, 2017, 39(3): 657-659.
 [3] 陈永强, 杨昌卫, 朱政, 等. 血必净注射液对肝癌 TACE 术后患者缺血/再灌注损伤以及血浆内毒素的影响[J]. 临床医学工程, 2017, 24(10): 1423-1424.
 [4] 陈向坤. 血必净联合血液净化治疗脓毒症多脏器衰竭的疗效观察[J]. 中国实用医药, 2024, 19(19): 112-115.
 [5] 邓石荣, 陈桂, 石家杰, 等. 血必净联合亚低温治疗重型颅脑损伤的临床效果[J]. 临床合理用药杂志, 2022, 15(23): 165-168.
 [6] 张乐. 血必净抗细菌病原菌感染及免疫抑制药效作用及机制[D]. 南京: 东南大学, 2023.
 [7] 袁观辉. 血必净注射液治疗急性有机磷中毒并心血管损伤 30 例疗效观察[J]. 咸宁学院学报(医学版), 2011, 25(1): 37-38.
 [8] 李越峰, 严兴科. 赤芍和白芍不同部位芍药苷和苯甲酸的含

量分析研究[J]. 时珍国医国药, 2012, 23(3): 519-520.
 [9] 崔婷婷, 张淑芳, 祖爱忠. HPLC 法同时测定葵花籽中苯甲酸、山梨酸、糖精钠 3 种添加剂[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(2): 283-288.
 [10] 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.
 [11] 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.
 [12] 付蒙, 江燕, 柳艳云, 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.
 [13] 蒲位凌, 任晓亮, 邱喜龙, 等. 血必净注射液中芍药苷的降解动力学研究[J]. 中成药, 2014, 36(2): 404-408.
 [14] 余莉, 郭洋. 苯甲酰芍药苷通过 Nrf2/HO-1 通路对心肌梗死大鼠心功能的影响作用机制研究[J]. 实验动物科学, 2022, 39(1): 44-48.
 [15] 侯玮琛. 没食子酰芍药苷通过 PI3K/Akt/Nrf2 通路减轻脑缺血再灌注后炎症反应与氧化应激损伤[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
 [16] 钟海蓉, 张绍山, 肖芳, 等. 基于 UPLC 法测定指标成分结合指纹图谱评价不同产地川赤芍不同部位的质量[J]. 中草药, 2021, 52(7): 2062-2071.
 [17] 付士朋, 沈宏伟, 王谦博, 等. 赤芍饮片加工工艺的优化[J]. 中成药, 2019, 41(8): 1899-1905.
 [18] 欧阳慧子, 何俊. LC-MS/MS 测定血必净注射液中 9 种有效成分在大鼠体内血药浓度及药代动力学研究[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(17): 3553-3561.
 [19] 屠亚茹, 欧阳慧子, 孙梦杰, 等. UPLC-Q-TOF-MS/MS 方法鉴定血必净注射液中 20 种化学成分[J]. 天津中医药大学学报, 2017, 36(3): 209-213.
 [20] 何俊, 刘华明, 屠亚茹, 等. UPLC-MS/MS 法同时测定血必净注射液中 15 种有效成分的含量[J]. 天津中医药大学学报, 2017, 36(6): 461-465.
 [21] 王莹, 韩丽, 郭志辉, 等. HPLC 法测定白芍药材中白芍总苷的含量[J]. 现代中药研究与实践, 2014, 28(1): 14-16.
 [22] 瞿白露, 禹文峰, 任凤莲, 等. 基于碱水解反应-荧光光度法测定白芍总苷的含量[J]. 理化检验(化学分册), 2010, 46(9): 1040-1042.