

基于指纹图谱及化学模式识别法结合多指标含量测定对不同直径远志根各部位的质量评价

张艺蕾¹, 杨冰月¹, 赵 璠³, 李 朋⁴, 鲁 鹏⁵, 张 岗¹, 颜永刚¹, 彭 亮^{1,2*}

1. 陕西中医药大学药学院, 陕西 咸阳 712046

2. 道地药材品质保障与资源持续利用全国重点实验室, 北京 100700

3. 榆林市第五医院, 陕西 榆林 719000

4. 榆林市横山区宽幅梯田建设服务中心, 陕西 榆林 719199

5. 榆林市横山区高镇冯家峁村经济合作社, 陕西 榆林 719199

摘要: 目的 以远志 *Polygala tenuifolia* 根为研究对象, 通过区分不同直径根、筒(去心后的根皮)及木心, 建立高效液相色谱(HPLC)指纹图谱, 结合化学模式识别与多指标成分含量测定方法, 系统评价其质量差异, 为远志传统“辨状论质”理论中“皮厚者佳”的科学性提供依据。方法 采集陕西榆林地区远志样品, 按根直径(2、3、4、5、6、7 mm)分组, 分别制备根、筒、木心样品。采用 HPLC 法建立指纹图谱, 标定共有峰并指认主要成分; 测定细叶远志皂苷等 7 个指标性成分含量; 利用 SIMCA 14.0 软件进行主成分分析(principal component analysis, PCA)和正交偏最小二乘法-判别分析(orthogonal partial least squares discriminant analysis, OPLS-DA), 并通过 Metware Cloud 平台进行聚类热图分析。结果 建立了 18 批样品的 HPLC 指纹图谱, 标定了 23 个共有峰, 指认了其中 7 个, 相似度为 0.748~0.943。PCA 与 OPLS-DA 分析可明显区分根、筒、木心 3 类样品, 并筛选出 3,6'-二芥子酰基蔗糖、远志皂苷 B 等 9 个差异性成分。活性成分含量总体表现为筒>根>木心。其中, 3,6'-二芥子酰基蔗糖在筒与木心间差异显著, 远志皂苷 III 在根与筒间差异明显。各指标成分总量随根直径与皮部厚度的增加而增加, 但其含量随直径变化呈不规则波动, 可能与皮部和木心比例相关。结论 所建立的 HPLC 指纹图谱结合化学模式识别与多指标含量测定方法稳定可靠, 可用于系统评价不同直径远志根、筒、木心的质量差异, 为远志药材的质量控制与资源合理利用提供科学参考。

关键词: 远志; 根; 筒; 木心; 指纹图谱; 化学模式识别; 西伯利亚远志糖 A5; 西伯利亚远志糖 A6; 远志皂苷 III; 3,6'-二芥子酰基蔗糖; 细叶远志皂苷 A; 细叶远志皂苷; 远志皂苷 B

中图分类号: R286.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2026)03-1091-10

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.03.025

Quality evaluation of different parts of *Polygala tenuifolia* root with different diameters based on fingerprint and chemical pattern recognition combined with multi-index content determination

ZHANG Yilei¹, YANG Bingyue¹, ZHAO Fan³, LI Peng⁴, LU Peng⁵, ZHANG Gang¹, YAN Yonggang¹, PENG Liang^{1,2}

1. College of Pharmacy, Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712046, China

2. National Key Laboratory of Quality Assurance and Sustainable Utilization of Genuine Medicinal Materials, Beijing 100700, China

3. Yulin No.5 Hospital, Yulin 719000, China

4. Wide Terrace Construction Service Center, Hengshan District, Yulin City, Yulin 719199, China

5. Fengjiamao Village Economic Cooperative, Gao Town, Hengshan District, Yulin City, Yulin 719199, China

Abstract: Objective This study focused on the root of *Polygala tenuifolia* by distinguishing the root, root bark (after removal of the

收稿日期: 2025-09-06

基金项目: 陕西省科技厅项目(2024SF-YBXM-457, S2024-JC-QN-1808, 2025ZY-XCZXJX-04); 中央本级重大增减支项目(2060302); 榆林市科技局项目(2025-SF-219); 咸阳市科技局项目(L2024-QCY-ZYYJJQ-X64, X73); 陕西中医药大学项目(2025SXZY-GJHX18, 2019-QN01)

作者简介: 张艺蕾(2001—), 女, 硕士研究生, 主要从事中药资源品质评价研究。E-mail: zhangyilei@126.com

***通信作者:** 彭 亮(1985—), 男, 教授, 主要从事中药资源评价与利用、分子生药学研究。E-mail: ppengliang@126.com

heartwood), and heartwood from roots of different diameters, a high-performance liquid chromatography (HPLC) fingerprint was established. Combined with chemical pattern recognition and multi-index component content determination methods, the quality differences were systematically evaluated to provide a scientific basis for the traditional “Quality Assessment Based on Morphological Characteristics” theory, specifically the principle that “thicker bark indicates better quality”. **Methods** *P. tenuifolia* samples were collected from Yulin, Shaanxi, and grouped according to root diameter (2, 3, 4, 5, 6, 7 mm). The root, root bark, and heartwood samples were prepared separately. HPLC was used to establish fingerprints, calibrate common peaks, and identify the main components. The contents of seven indicator components, such as tenuifolin, were determined. Principal component analysis (PCA) and orthogonal partial least-squares discriminant analysis (OPLS-DA) were performed using SIMCA 14.0 software, and cluster heat-map analysis was conducted on the Metware Cloud platform. **Results** HPLC fingerprints of 18 batches of samples were established, with 23 common peaks calibrated and seven of them identified. Similarity ranged from 0.748 to 0.943. PCA and OPLS-DA clearly distinguished three sample types (root, root bark, heartwood) and screened nine differential components, including 3,6'-disinapoyl sucrose and onjisaponin B. Overall, the content of active components followed the order: root bark > root > heartwood. 3,6'-disinapoyl sucrose showed significant differences between root bark and heartwood, while polygalaxanthone III varied markedly between root and root bark. The total content of indicator components increased with root diameter and bark thickness, but the individual content fluctuated irregularly with diameter, which may be related to the ratio of bark to heartwood. **Conclusion** The established HPLC fingerprint, combined with chemical pattern recognition and multi-index content determination, is stable and reliable. It can be used to systematically evaluate the quality differences of *P. tenuifolia* roots, root barks, and heartwoods of different diameters, providing a scientific reference for quality control and rational utilization of *P. tenuifolia* medicinal materials.

Key words: *Polygala tenuifolia* Willd.; root; root bark; heartwood; fingerprint; chemical pattern recognition; sibiricose A5; sibiricose A6; polygalaxanthone III; 3,6'-disinapoyl sucrose; tenuifolioside A; tenuifolin; onjisaponin B

远志为远志科植物远志 *Polygala tenuifolia* Willd.或卵叶远志 *P. sibirica* L.的干燥根^[1], 始载于《神农本草经》^[2]。迄今已从远志中分离并鉴定了 140 余种化合物, 包括皂苷类、甾酮类、寡糖酯类及生物碱类等^[3]。其中, 皂苷类、甾酮类以及寡糖酯类是远志中公认的主要药效成分^[4], 具有抗衰老、抗抑郁、催眠镇静、抗心律失常等多种药理活性^[5-7]。

远志作为传统道地药材“秦药”的代表性品种, 商品药材多为 3~4 年生栽培品, 主产于陕西、山西等干旱地区^[8]。市售远志药材主要有远志根、远志筒(去心后所剩的根皮)及远志棍(含木心与根皮的细根), 各类化学成分差异显著, 尤其是皮部与木心之间。研究表明, 远志的主要活性成分如皂苷类、甾酮类等主要富集于根皮部的次生韧皮部及栓内层薄壁细胞中^[9-10]。郭一敏等^[11]发现, 远志皮部中皂苷含量达 12.1%, 而木心中仅为 0.48%, 相差约 25 倍。李娟等^[12]基于 UHPLC-Q-TOF-MS 技术进一步证实, 远志筒和木心在化学成分种类和相对含量上存在显著差异。《雷公炮炙论》^[13]早有记载:“远志凡使, 先须去心, 若不去心, 服之令人闷”。1963 版之前《中国药典》均规定远志的加工方式需抽芯, 尽管自《中国药典》1977 年版起未再强制要求去心, 但产地加工中仍普遍保留抽芯工序, 市场上亦以远志筒为主要流通规格, 其质量与去心程度密切相关^[14]。《中药材

商品规格等级—远志》^[15]依据根直径及抽芯率将远志筒划分为“大筒”、“中筒”及“统货”3 个等级, 表明根直径是影响其商品分级的关键因素。传统经验鉴别强调远志以“去心后外周皮部完整且直径较粗者”为佳。滕红梅^[16]研究亦表明, 不同生长年限远志皮部中总皂苷及皂苷元含量均显著高于木质部。然而, 目前关于不同直径远志根、筒及木心中主要活性成分的含量差异, 仍缺乏系统性研究, 亟待深入探讨。

中药化学成分复杂, 单一指标成分难以全面反映其质量, 指纹图谱技术能从整体化学成分角度进行综合评价, 已成为中药质量控制的重要手段^[17-18]。近年来, 远志 HPLC 指纹图谱研究取得了一定进展: 姜勇等^[19]比较不同浓度甲醇提取效果, 确定 70%甲醇提取效率最佳; 彭亮等^[20]优化色谱条件, 发现乙腈-0.05%磷酸水系统在 316 nm 波长下分离效果最优; 许丽丽等^[21]建立蜜远志指纹图谱, 标定 27 个共有峰并指认 8 个特征成分; 谢元彪等^[22]改进含量测定方法, 有效提升远志甾酮 III 和 3,6'-二芥子酰基蔗糖的分离与检测准确性; 王海波等^[23]所建立的 HPLC 指纹图谱方法也为远志质量评价提供了参考。在此基础上, 化学模式识别法如主成分分析(principal component analysis, PCA)和正交偏最小二乘法-判别分析(orthogonal partial least squares discriminant analysis, OPLS-DA)能够进一

步揭示样品间的整体相似性与差异性，并筛选关键差异性成分^[24]。因此，本研究拟通过 HPLC 法建立不同直径远志根、筒、木心的指纹图谱，并结合化学模式识别与多指标含量测定评价其质量差异，旨在为远志“皮厚者佳”这一传统“辨状论质”观点提供科学依据，并为远志药材的临床应用、质量控制及资源合理利用提供参考。

1 材料与仪器

1.1 仪器

Waters-2695 高效液相色谱仪（美国 Waters 公司）；电热鼓风干燥箱（上海一恒科学仪器有限公司）；L12-Y907 型不锈钢破壁研磨杯（九阳股份有限公司）；AE224 型十万分之一电子分析天平（上海舜宇恒平科学仪器有限公司）；0.22 μm 微孔滤膜-天津东康（易东联科技有限公司）；SB-5200DT 型超声波清洗机（宁波新芝生物科技股份有限公司）；Waters-CERTIFIED 液相进样瓶（美国 Waters 公司）。

1.2 材料

色谱纯乙腈、甲醇、磷酸（上海安谱实验科

技股份有限公司）；纯净水（杭州娃哈哈集团有限公司）；其余试剂均为分析纯（天津市天力化学试剂有限公司）。西伯利亚远志糖 A5（批号 AF21052104）、西伯利亚远志糖 A6（批号 AFCE2306）、远志吡酮Ⅲ（批号 AFCEG0604）、3,6'-二芥子酰基蔗糖（批号 AF21042652）、细叶远志苷 A（批号 AFCE2307）、细叶远志皂苷（批号 AF20120606）、远志皂苷 B（批号 AF20101610）均购自成都埃法生物科技有限公司，质量分数均≥98%。

远志样品采自陕西省榆林市佳县远志标准化种植基地及横山区冯家峁村中药材种植基地，经陕西中医药大学胡本祥教授鉴定为远志 *P. tenuifolia* Willd. 干燥根。以根直径为分组依据，将样品划分为 2、3、4、5、6、7 mm 共 6 个直径组。每组样品分为 2 部分：一部分保留完整根（未抽芯），另一部分经抽芯处理后分离为远志筒（根皮）和木心。所有样品于 60 ℃ 烘干，粉碎后过 60 目筛，置于干燥器中备用。样品信息见表 1。

表 1 不同直径远志的根、筒、木心样品信息

Table 1 Information of different diameter root, root bark and heartwood of *P. tenuifolia* samples

编号	根直径/mm	样品	编号	根直径/mm	样品	编号	根直径/mm	样品
S1-1~3	2	木心	S7-1~3	4	木心	S13-1~3	6	木心
S2-1~3	2	根	S8-1~3	4	根	S14-1~3	6	根
S3-1~3	2	筒	S9-1~3	4	筒	S15-1~3	6	筒
S4-1~3	3	木心	S10-1~3	5	木心	S16-1~3	7	木心
S5-1~3	3	根	S11-1~3	5	根	S17-1~3	7	根
S6-1~3	3	筒	S12-1~3	5	筒	S18-1~3	7	筒

2 方法与结果

2.1 远志表型指标测定及统计

精确测量远志根系表型指标，包括根长、根直径、木心直径及皮部厚度。使用 Origin 2021 软件进行数据统计。结果显示，远志根长主要分布在 15~23 cm（占 78.38%），根直径集中于 2.75~4.25 mm（占 79.19%），木心直径集中于 1.1~1.7 mm（占 65.68%），皮部厚度集中于 0.9~1.3 mm（占 72.03%）。此外，木皮比（木心半径/皮部厚度）主要集中在 50%~70%（占 71.22%），木心占比（木心直径/根直径）主要集中在 32.5%~42.5%（占 68.78%）。

2.2 指纹图谱的建立

2.2.1 色谱条件 采用 Agilent 5TC-C₁₈（250 mm×4.6 mm，5 μm）；流动相为乙腈（A）-0.05%磷酸水

溶液（B），梯度洗脱：0~7 min，11% A；7~8 min，11%~15% A；8~20 min，15% A；20~23 min，15%~20% A；23~28 min，20%~25% A；28~40 min，25% A；40~48 min，25%~29% A；48~56 min，29%~35% A；56~57 min，35%~40% A；57~70 min，40%~43% A；70~71 min，43%~11% A；71~80 min，11% A。体积流量 1.0 mL/min；检测波长 316、210 nm；柱温 30 ℃；进样量 10 μL。

2.2.2 供试品溶液制备 精密称取各远志样品粉末 0.1 g，加入 70% 甲醇 3.5 mL，称定质量，于 60 ℃ 水温超声提取 60 min，冷却后补足减失质量，摇匀，离心（12 000 r/min，10 min），取上清液经 0.22 μm 微孔滤膜滤过，即得。

2.2.3 对照品溶液制备 精密称取减压干燥 24 h 后

的各对照品，以 70% 甲醇溶解并定容，分别配制成 1.0 mg/mL 西伯利亚远志糖 A5、1.0 mg/mL 远志吡酮 III、1.5 mg/mL 细叶远志苷 A、1.5 mg/mL 细叶远志皂苷、0.1 mg/mL 远志皂苷 B、0.5 mg/mL 3,6'-二芥子酰基蔗糖、0.8 mg/mL 西伯利亚远志糖 A6。溶液经 0.22 μ m 滤膜滤过后备用。

2.2.4 空白试验 精密吸取 10 μ L 甲醇作为空白溶液，按“2.2.1”项下色谱条件进样分析，结果表明空白溶液对测定结果无干扰。

2.2.5 精密度试验 取同一供试品溶液，按“2.2.1”项色谱条件连续进样 6 次。以 3,6'-二芥子酰基蔗糖为参照峰，计算各共有峰相对保留时间和相对峰面积的 RSD 值，结果均小于 2%，表明仪器精密度良好。

2.2.6 重复性试验 取同一供试品，按“2.2.2”项方法平行制备 6 份供试品溶液，按“2.2.1”项色谱条件进样测定。以 3,6'-二芥子酰基蔗糖为参照峰，

各共有峰相对保留时间和相对峰面积的 RSD 值均小于 3%，表明方法重复性良好。

2.2.7 稳定性试验 取同一供试品溶液，于室温下分别在 0、2、4、8、12、24 h 进样分析。以 3,6'-二芥子酰基蔗糖为参照峰，各共有峰相对保留时间和相对峰面积 RSD 值均小于 2%，表明供试品溶液 24 h 内稳定。

2.2.8 指纹图谱的建立及分析 按“2.2.2”项方法制备不同直径远志根、筒、木心样品（每组 $n=3$ ，共 54 份）供试液，按“2.2.1”项色谱条件进行 HPLC 分析，记录色谱图。将所有色谱图导入“中药色谱指纹图谱相似度评价系统”，以样品 S1-1 为参照图谱，生成叠加指纹图谱（图 1）及对照指纹图谱（图 2）。通过与对照图谱比较，计算各样品相似度。共标定 23 个共有峰，指认其中 7 个为主要成分峰。3,6'-二芥子酰基蔗糖因峰形稳定、响应较高，设为参照峰（S）。

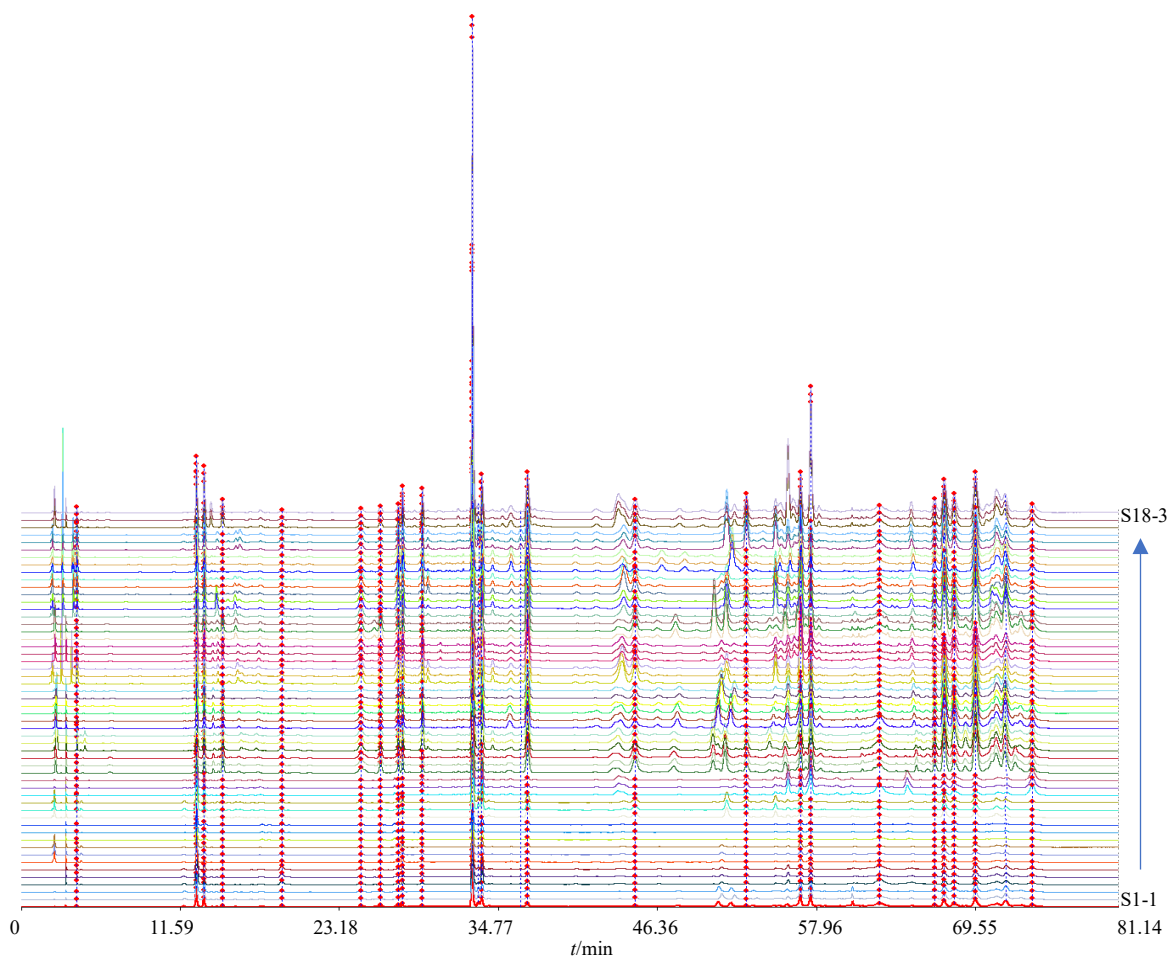
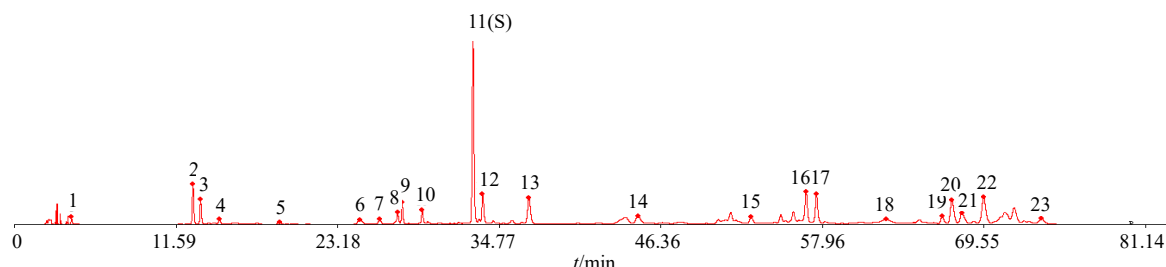


图 1 不同直径远志根、筒、木心 HPLC 叠加指纹图谱

Fig. 1 Fingerprint overlay of root, root bark and heartwood of *P. tenuifolia* with different diameters



2-西伯利亚远志糖 A5, 3-西伯利亚远志糖 A6, 9-远志呋酮 III, 11-3, 6'-二芥子酰基蔗糖, 13-细叶远志苷 A, 18-细叶远志皂苷 B, 22-远志皂苷 B。
2-sibiricose A5, 3-sibiricose A6, 9-polygalaxanthone III, 11-3,6'-disinapoyl sucrose, 13-tenuifolioside A, 18-tenuifolin, 22-onjisaponin B.

图 2 远志对照指纹图谱

Fig. 2 Control fingerprint of *P. tenuifolia*

2.2.9 相似度分析 所有样品相似度在 0.748~0.943 (表 2), 其中木心样品的相似度整体偏低, 而根与筒的相似度较高, 均大于 0.862。结果表明, 不同直径远志根、筒、木心之间整体化学组成相似, 但在化学成分相对含量上存在明显差异。

表 2 远志样品 HPLC 指纹图谱相似度评价结果

Table 2 Similarity evaluation results of HPLC fingerprint of *P. tenuifolia* samples

编号	相似度	编号	相似度	编号	相似度	编号	相似度	编号	相似度
S1-1	0.907	S10-3	0.861	S5-2	0.937	S17-1	0.935	S9-3	0.943
S1-2	0.912	S13-1	0.891	S5-3	0.936	S17-2	0.934	S12-1	0.887
S1-3	0.915	S13-2	0.892	S8-1	0.912	S17-3	0.935	S12-2	0.889
S4-1	0.748	S13-3	0.889	S8-2	0.916	S3-1	0.865	S12-3	0.889
S4-2	0.759	S16-1	0.818	S8-3	0.916	S3-2	0.862	S15-1	0.916
S4-3	0.751	S16-2	0.828	S11-1	0.921	S3-3	0.866	S15-2	0.918
S7-1	0.878	S16-3	0.830	S11-2	0.919	S6-1	0.908	S15-3	0.913
S7-2	0.876	S2-1	0.867	S11-3	0.917	S6-2	0.905	S18-1	0.897
S7-3	0.871	S2-2	0.870	S14-1	0.939	S6-3	0.910	S18-2	0.897
S10-1	0.855	S2-3	0.867	S14-2	0.938	S9-1	0.942	S18-3	0.897
S10-2	0.862	S5-1	0.936	S14-3	0.938	S9-2	0.941		

2.3 化学模式识别

2.3.1 PCA PCA 是一种通过线性降维处理多指标数据的多元统计方法, 已在中药材质量评价与分类中广泛应用^[25-27]。将不同直径远志根、筒、木心样品的 23 个共有峰峰面积导入 SIMCA-P14.0 软件进行 PCA, 提取前 3 个主成分 (特征值均>1), 累积贡献率达 80.277%, 表明这 3 个主成分能有效反映样品间的主要变异信息 (表 3)。其中, 第 1 主成分 (PC1) 贡献率为 57.875%, 主要反映为来自峰 18 (0.967)、19 (0.957)、22 (0.941)、3 (0.908)、13 (0.901) 和 20 (0.900) 的信息; 第 2 主成分 (PC2) 贡献率为 15.671%, 主要反映的是来自峰 1 (0.693)、5 (0.661)、4 (-0.741) 和 17 (-0.638) 的信息; 第 3 主成分 (PC3) 贡献率为 6.731%, 主要反映的是

来自峰 15 (0.696)、2 (0.485) 和 5 (0.430) 的信息。模型预测参数 $Q^2=0.727>0.5$, 说明模型具有良好的预测能力与区分度。PCA 得分图 (图 3) 显示, 样品可明显分为根、筒、木心 3 类, 其中木心样品与根、筒样品离散程度较大, 可能与木心中化学成分含量普遍较低有关。

2.3.2 OPLS-DA 为更精确分析组间差异并筛选差异性成分, 进一步采用有监督的 OPLS-DA 方法^[28-29]。基于 23 个共有峰峰面积建立模型, 得到模型中 $R^2_X=0.947$, $R^2_Y=0.967$, $Q^2=0.951>0.5$, 表明模型解释与预测能力良好。

OPLS-DA 得分图 (图 4) 显示, 远志根、筒、木心 3 类样品聚类更为集中, 区分效果优于 PCA。通过 200 次置换检验验证 (图 5-A), Q^2 回归线与 Y

表 3 主成分载荷表

Table 3 Loadings in three principal components

峰号	PC1	PC2	PC3
1	0.457	0.693	-0.225
2	0.621	0.459	0.485
3	0.908	-0.191	0.042
4	0.571	-0.741	0.035
5	0.308	0.661	0.430
6	0.854	0.096	-0.193
7	0.780	-0.503	-0.126
8	0.742	0.496	-0.338
9	0.756	0.332	-0.253
10	0.644	0.242	-0.227
11	0.806	-0.011	0.308
12	0.564	0.447	-0.039
13	0.901	0.253	-0.149
14	0.870	-0.121	0.142
15	0.543	0.292	0.696
16	0.830	0.011	-0.269
17	0.629	-0.638	0.286
18	0.967	0.145	-0.035
19	0.957	-0.041	0.027
20	0.900	-0.053	-0.030
21	0.823	-0.343	0.035
22	0.941	-0.269	-0.099
23	0.677	-0.476	0.018
特征值	13.311	3.604	1.548
贡献率/%	57.875	15.671	6.731
累积贡献率/%	57.875	73.546	80.277

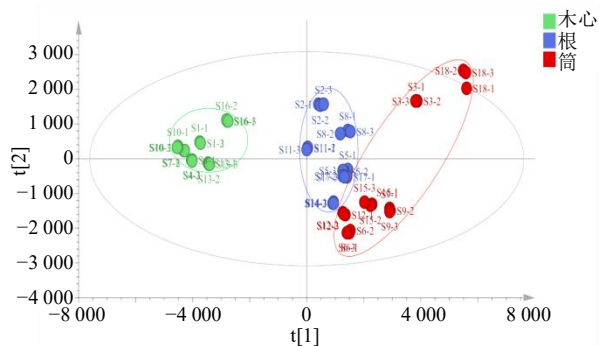


图 3 PCA 得分图

Fig. 3 PCA score plot

轴交点为负,说明模型未出现过拟合,可用于判别分析。利用变量重要性投影值(variable importance projection, VIP)^[30]评估各峰对分类的贡献,以VIP>1为阈值,筛选出9个关键差异性成分,包括3,6'-二芥子酰基蔗糖、远志皂苷B、细

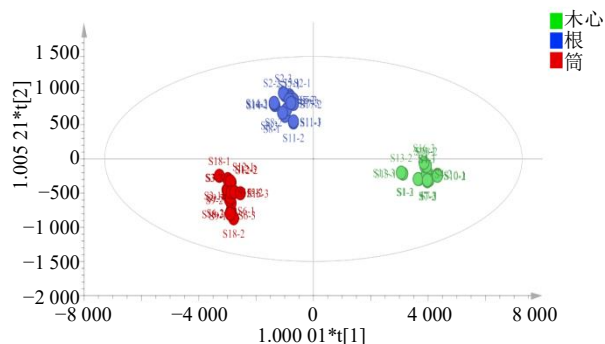


图 4 OPLS-DA 得分图

Fig. 4 OPLS-DA score plot

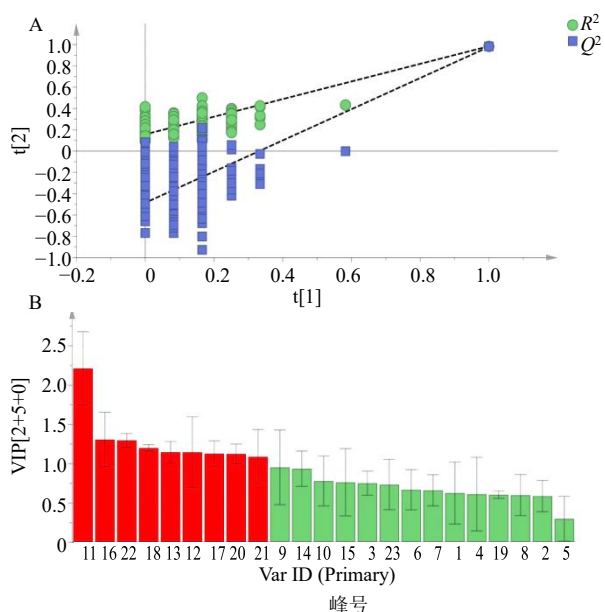


图 5 OPLS-DA 置换检验图 (A) 和 VIP 得分图 (B)

Fig. 5 OPLS-DA permutation test (A) and VIP score (B)

叶远志皂苷、细叶远志苷 A 以及 5 个尚未指认的成分(图 5-B)。这些成分在不同部位间含量差异显著,是区分远志根、筒、木心的主要化学标志物。

2.4 不同直径远志根、筒、木心峰面积聚类热图分析

为更直观呈现远志化学成分在不同直径根、筒、木心样品中的分布特征,基于 23 个共有峰的峰面积数据,采用平方欧式距离进行聚类热图分析(图 6)^[31]。图中颜色由深绿色到红棕色表示各成分相对含量由低至高。结果显示,木心中绝大多数成分含量普遍较低;根与筒中成分含量均显著高于木心,且筒中的相对含量最高。在已指认的 7 个主要活性成分中,不同直径远志根、筒、木心之间表现出明显的含量差异,其中直径 7 mm 的远志筒样品各指标成分富集最为显著。该结果直观表明,远志

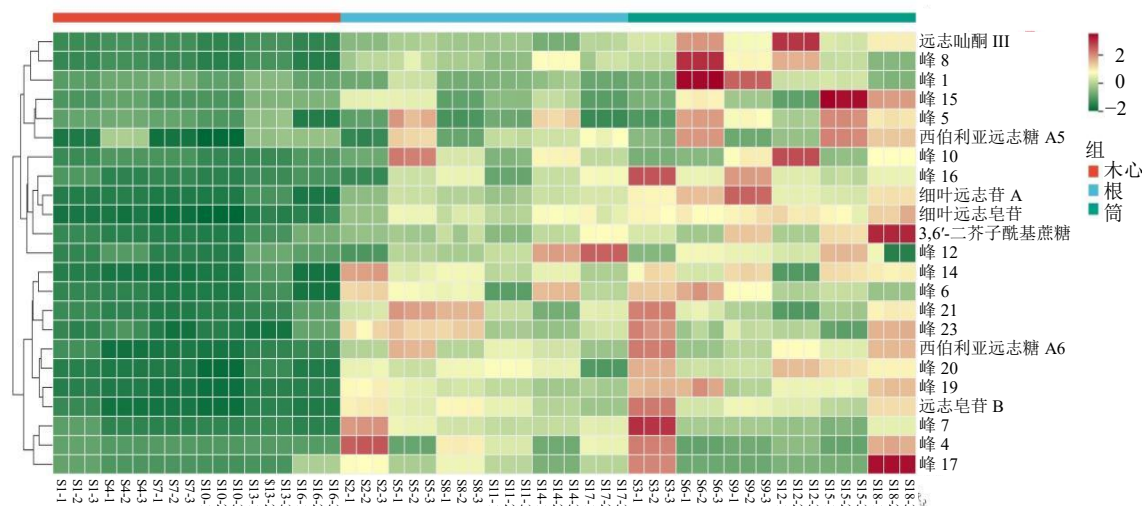


图 6 不同直径远志根、筒、木心 23 个峰面积聚类热图

Fig. 6 Heatmap of 23 peak areas in the roots, root bark, and heartwood of *P. tenuifolia* with different diameters

化学成分在不同部位及不同直径样品间具有明显的分布差异。基于聚类热图的分析结果，本研究进一步采用高效液相色谱法对 7 个主要活性成分在不同直径远志根、筒、木心中的含量进行定量分析，以系统揭示其随样品直径及部位变化的规律。

2.5 多指标含量测定

2.5.1 色谱条件 同“2.2.1”项色谱条件。

2.5.2 供试品溶液的制备 同“2.2.2”项。

2.5.3 对照品溶液的制备 同“2.2.3”项。

2.5.4 线性关系考察 精密吸取“2.2.3”项下溶液，

在“2.2.1”项色谱条件下按 2.0、4.0、8.0、10.0、12.0、16.0、20.0 μL 梯度进样，进样量为横坐标 (X)，峰面积为纵坐标 (Y)，绘制标准曲线，见表 4，线性回归后显示 7 个主成分线性关系良好。

2.5.5 精密度试验 取供试品溶液，用“2.2.1”项色谱条件连续进样 6 次，计算得 7 个成分峰面积 RSD 值均小于 1.93%，说明精密度良好。

2.5.6 重复性试验 取同一供试品，按“2.2.2”项平行制备供试品溶液 6 份，按“2.2.1”项下色谱条件进样，计算得 7 个成分质量分数的 RSD 值均小于 2.07%，表明重复性良好。

表 4 线性关系考察结果

Table 4 Results of linear relationship investigation

成分	回归方程	R^2	线性范围/ μg
西伯利亚远志糖 A5	$Y=388\ 509 X-325\ 100$	0.999 9	2.0~20.0
西伯利亚远志糖 A6	$Y=160\ 010 X-111\ 113$	0.999 9	1.6~16.0
远志卟酮 III	$Y=162\ 374 X-142\ 351$	0.999 8	2.0~20.0
3,6'-二芥子酰基蔗糖	$Y=345\ 256 X-146\ 628$	0.999 9	1.0~10.0
细叶远志苷 A	$Y=199\ 585 X-284\ 298$	0.999 9	3.0~30.0
细叶远志皂苷	$Y=340\ 986 X-186\ 382$	0.999 5	3.0~30.0
远志皂苷 B	$Y=206\ 207.77 X-183\ 576.17$	0.999 0	0.2~2.0

2.5.7 稳定性试验 取同一供试品溶液在“2.2.1”项色谱条件下，于 0、2、4、8、12、24 h 进样，计算得 7 个成分的峰面积 RSD 值均小于 2.13%，说明样品 24 h 内稳定性良好。

2.5.8 加样回收试验 精密称取已知含量的样品 6

份，按已知含量的 50%、100%、150% 3 个水平精密加入 7 个对照品，供试品制备方法同“2.2.2”项，按“2.2.1”项下色谱条件进样，计算得 7 个成分平均加样回收率均在 95%~105%，RSD 值均小于 5%，表明方法准确度良好。

2.5.9 样品含量测定 在指纹图谱分析的基础上, 采用 HPLC 法对 7 个指标性成分在不同直径远志根、筒及木心中的含量进行定量测定。供试品制备同“2.2.2”项方法, 色谱条件同“2.2.1”项。根据峰面积计算各成分含量, 结果见表 5。

总体来看, 不同部位间各成分含量表现为筒>根>木心。在同一直径组内, 上述趋势仍一致。进一步比较发现, 各成分在远志筒中的含量均显著高于木心, 其中 3,6'-二芥子酰基蔗糖差异最为显著, 达 4.25~10.60 倍; 其他成分差异倍数依次为: 远志吡啶酮 III 为 2.76~8.27 倍、细叶远志苷 A 为 2.35~6.97 倍、西伯利亚远志糖 A5 为 1.36~1.63 倍)、西伯利亚远志糖 A6 为 3.15~4.94 倍、细叶远志皂苷为 3.58~6.59 倍、远志皂苷 B 为 3.21~7.33 倍。各

成分平均差异倍数为 3.00~5.64 倍。根与筒中的各成分含量相对较小, 其中, 远志吡啶酮 III 差异幅度最大 (1.06~3.66 倍), 其余成分差异倍数分别在 0.52~2.10 倍; 各成分平均差异倍数为 1.17~1.55 倍, 显著低于筒与木心间的差异。含量随直径变化趋势方面, 根、筒、木心中各成分含量随直径变化均未呈现规律性递增或递减, 表现出不规则波动, 可能与不同直径下皮部与木心的比例差异有关。此外, 结合不同直径远志根的生物量进行折算, 2 mm 和 7 mm 直径样品的单株生物量平均为 (0.87±0.15) g 与 (3.03±0.17) g。经换算后, 7 个指标成分在 7 mm 样品中的单株累积总量平均为 2 mm 样品的 5.13 倍, 表明随着远志根直径及皮部厚度的增加, 其活性成分累积总量亦显著提高。

表 5 不同直径远志根、筒、木心样品主要活性成分含量测定结果 (n=3)

Table 5 Determination results of main active components in root, root bark and heartwood samples of *P. tenuifolia* with different diameters (n = 3)

编号部位	质量分数/%						
	西伯利亚远志糖A5	西伯利亚远志糖A6	远志吡啶酮III	3,6'-二芥子酰基蔗糖	细叶远志苷A	细叶远志皂苷	远志皂苷B
S1 木心	0.699±0.007	0.743±0.008	0.492±0.004	1.329±0.015	0.765±0.002	0.879±0.028	1.134±0.005
S4 木心	1.071±0.006	0.383±0.007	0.567±0.004	0.976±0.003	0.788±0.002	0.881±0.056	0.586±0.011
S7 木心	0.672±0.004	0.453±0.015	0.534±0.005	0.823±0.008	0.712±0.013	0.732±0.014	0.65±0.019
S10 木心	0.628±0.005	0.430±0.003	0.404±0.005	0.709±0.006	0.705±0.004	0.605±0.010	0.492±0.005
S13 木心	1.012±0.013	0.599±0.006	0.576±0.004	1.764±0.027	1.183±0.010	1.067±0.059	0.948±0.005
S16 木心	1.018±0.002	0.668±0.002	0.421±0.003	3.138±0.003	0.666±0.001	1.126±0.105	0.791±0.012
S2 根	0.759±0.013	1.568±0.016	1.051±0.011	4.046±0.047	1.950±0.021	2.416±0.012	4.336±0.053
S5 根	1.406±0.015	2.636±0.023	1.211±0.018	4.402±0.087	2.635±0.028	3.447±0.019	3.631±0.045
S8 根	0.899±0.000	1.582±0.005	1.201±0.003	5.126±0.573	2.366±0.003	3.125±0.145	4.196±0.009
S11 根	1.137±0.013	1.943±0.014	0.913±0.004	3.723±0.037	2.141±0.064	2.779±0.041	3.703±0.031
S14 根	1.168±0.002	1.780±0.007	1.393±0.015	5.276±0.035	2.635±0.025	3.572±0.025	2.999±0.015
S17 根	1.274±0.022	1.390±0.005	1.891±0.002	7.171±0.011	2.761±0.004	3.416±0.259	2.644±0.005
S3 筒	0.970±0.019	3.053±0.009	1.589±0.003	5.941±0.017	3.328±0.009	3.732±0.050	6.043±0.022
S6 筒	1.571±0.001	1.381±0.001	2.631±0.008	4.414±0.008	3.938±0.018	3.737±0.097	3.420±0.001
S9 筒	0.912±0.003	1.601±0.008	1.816±0.004	8.722±0.045	4.959±0.028	3.893±0.122	3.824±0.032
S12 筒	1.021±0.002	2.125±0.002	3.34±0.009	4.671±0.009	2.933±0.007	3.990±0.128	3.604±0.005
S15 筒	1.614±0.011	1.888±0.012	1.591±0.034	8.045±0.077	2.786±0.027	3.601±0.182	3.046±0.059
S18 筒	1.439±0.005	2.614±0.007	2.005±0.005	13.336±0.017	3.552±0.012	4.354±0.211	4.548±0.001

3 讨论

在中药鉴定领域, 谢宗万、金世元先生提出“辨状论质”、“五象七原”理论, 其核心为药材在“形、色、气、味、质”等外观上所表达的固定特征与其内在品质具有一定联系^[32]。其中, “形”作为最直观的性状特征, 包括整体大小、长短、厚薄等方面, 直接关系到药材的质量分级。《中华本草》明确记载

远志药材“以根粗壮、皮厚者为佳”, 但目前针对该性状-品质关联性的现代研究仍较为薄弱, 缺乏系统的实验数据支撑。

本研究以不同直径远志根为研究对象, 分别对其根、筒 (去心根皮) 及木心进行系统分析, 建立了基于 HPLC 指纹图谱、化学模式识别与多指标含量测定的综合评价体系。指纹图谱相似度分析结果

表明,不同直径远志根、筒、木心之间整体化学组分类似,但化学成分相对含量存在明显差异。化学模式识别结果表明,PCA 和 OPLS-DA 均将所有样品明确区分为根、筒、木心 3 类,并筛选出 3,6'-二芥子酰基蔗糖、远志皂苷 B、细叶远志皂苷、细叶远志苷 A 等 9 个关键差异性成分,其中 3,6'-二芥子酰基蔗糖的贡献最为显著。含量测定结果显示,远志筒中各指标成分含量最高,根次之,木心最低。其中,远志筒与木心之间的成分含量平均差异达 3.00~5.64 倍,与文献报道相似^[9];远志根与筒之间的差异则相对较小,平均差异倍数为 1.17~1.55 倍。值得注意的是,各部位成分含量随直径变化并未呈现规律性趋势,表明直径本身并非影响成分分布的单一主导因素,皮部与木心的比例可能起到关键调节作用。尽管如此,结合生物量分析发现,随着远志根直径及皮部厚度的增加,单株远志中 7 个指标成分的累积总量显著提升(7 mm 样品约为 2 mm 样品的 5.13 倍),这为传统经验中远志以“根粗壮、皮厚者佳”提供了客观数据支持。

当前远志药材商品规格等级主要依据长度、直径、抽芯率为等级评价标准,尚未考虑皮部与木心比例对其内在质量的影响。本研究结果提示,在远志质量评价中应进一步重视“皮厚”这一性状,并探索皮部占比与药效成分累积之间的关系。因此,后续研究拟聚焦于同一直径下皮部-木心比例显著不同的样品(如“皮厚”与“皮薄”),深入分析主要活性成分的分布规律,阐明直径与皮部、木心比例对远志质量的协同影响,从而为远志资源的高值化利用与质量控制提供更精细化的科学依据。

综上,本研究建立的指纹图谱、化学模式识别及多指标含量测定方法,可系统、可靠地评价不同直径远志根、筒、木心的质量差异,方法操作简便、重复性好,为远志药材的标准化生产、质量控制和资源合理利用提供了可行的方法参考与数据支撑。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 163-164.
- [2] 马继兴. 神农本草经辑注 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1995: 249.
- [3] 王小雨, 刘传鑫, 周佳丽, 等. 中药远志的化学成分和药理作用研究进展及其潜在质量标志物预测分析 [J]. 国际药学研究杂志, 2020, 47(7): 483-495.
- [4] Feng G F, Liu S, Pi Z F, et al. Comprehensive characterization of *in vivo* metabolic profile of *Polygalae Radix* based on ultra-high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2019, 165: 173-181.
- [5] Zhao X, Cui Y L, Wu P, et al. *Polygalae Radix*: A review of its traditional uses, phytochemistry, pharmacology, toxicology, and pharmacokinetics [J]. *Fitoterapia*, 2020, 147: 104759.
- [6] 李旭冉, 陈思邈, 陈伟燕, 等. 远志的化学成分及防治阿尔兹海默症的研究进展 [J]. 中国药理学杂志, 2022, 57(1): 15-23.
- [7] Jin Z L, Gao N N, Li X R, et al. The antidepressant-like pharmacological profile of Yuanzhi-1, a novel serotonin, norepinephrine and dopamine reuptake inhibitor [J]. *Eur Neuropsychopharmacol*, 2015, 25(4): 544-556.
- [8] 宗浩然, 周雪薇, 樵晓钰, 等. 海藻糖对旱、盐胁迫下远志种子萌发及幼苗生理的影响 [J]. 陕西中医药大学学报, 2025, 48(1): 15-21.
- [9] 刘艳芳, 彭东艳, 杨晓娟, 等. 去心与不去心远志药材的化学成分和药效学比较研究 [J]. 中国药理学杂志, 2012, 47(24): 1975-1979.
- [10] 张璐, 蒋境兴, 李佩, 等. 基于显微结构与代谢组学的不同采收季节远志特征研究 [J]. 辽宁中医药大学学报, 2024, 26(12): 42-48.
- [11] 郭一敏, 郭希圣. 远志的薄层分离和分光光度测定 [J]. 中草药, 1975, 6(3): 19-22.
- [12] 李娟, 姜迎昕, 张丽君, 等. 基于 UHPLC-Q-TOF-MS 非靶向代谢组学的远志木心差异化学成分研究 [J]. 山西中医药大学学报, 2025, 26(2): 160-169+174.
- [13] 南朝宋·雷敫撰著. 清·张骥补辑. 施仲安校注. 雷公炮炙论 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1985.
- [14] 洪占梅, 熊晓莉, 肖俊萍, 等. 基于高效液相色谱法测定不同产地、不同抽芯程度远志药材中 4 种成分的含量 [J]. 中南药学, 2023, 21(2): 503-507.
- [15] 中药材商品规格等级 远志: T/CACM 1021.38—2018 [S]. 2018: 56.
- [16] 滕红梅. 药用远志的结构发育与主要药用成分积累关系的研究 [D]. 西安: 西北大学, 2009.
- [17] 刘东方, 赵丽娜, 李银峰, 等. 中药指纹图谱技术的研究进展及应用 [J]. 中草药, 2016, 47(22): 4085-4094.
- [18] 姚令文, 刘燕, 郑笑为, 等. 指纹图谱、特征图谱技术在中药材和中成药中的应用 [J]. 中国新药杂志, 2018, 27(8): 934-939.
- [19] 姜勇, 张娜, 崔振, 等. 远志药材的 HPLC 指纹图谱 [J]. 药学学报, 2006, 32(2): 179-183.
- [20] 彭亮, 杨冰月, 张琳, 等. 野生与栽培远志 HPLC 指纹图谱及化学模式识别研究 [J]. 中草药, 2018, 49(21):

- 4998-5003.
- [21] 许丽丽, 汪冰, 任榕霞, 等. 基于指纹图谱和多指标含量测定的蜜远志质量评价 [J]. 中草药, 2023, 54(19): 6461-6468.
- [22] 谢元彪, 李淞明, 詹常森. 远志中远志酮III和 3,6'-二芥子酰基蔗糖含量测定方法的改进 [J]. 中国药品标准, 2023, 24(5): 488-497.
- [23] 王海波, 刘勇, 邸学, 等. 远志 HPLC 多指标指纹图谱研究 [J]. 中药材, 2018, 41(2): 378-380.
- [24] 毛英民, 赵大庆, 黄宝泰, 等. 指纹图谱及多成分定量结合化学模式识别法评价不同规格西洋参质量 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2022, 24(11): 4207-4215.
- [25] 李敏, 乔旭, 魏建和, 等. 基于 UPLC 多指标测定和指纹图谱对不同来源茵陈药材质量评价 [J]. 中草药, 2025, 56(1): 282-292.
- [26] 李蕊, 徐荣荣, 张楚涵, 等. 基于 UPLC 指纹图谱及多指标成分测定结合化学计量学评价不同来源紫菀药材的质量 [J]. 中草药, 2025, 56(2): 647-655.
- [27] 聂韡, 朱培林, 房海灵, 等. HPLC 指纹图谱结合化学计量学评价不同产地广东紫珠药材的质量 [J]. 中草药, 2017, 48(1): 185-191.
- [28] 崔艺彤, 王乐, 王朝慧, 等. 基于 HPLC 指纹图谱和多成分定量结合化学模式识别的槐枝药材质量评价 [J]. 药物评价研究, 2025, 48(4): 928-935.
- [29] Wang F Q, Qian Z K, Liao G L, *et al.* HPLC coupled with chemical fingerprinting for multi-pattern recognition for identifying the authenticity of *Clematidis armandii* caulis [J]. *J Vis Exp*, 2022(189): 189.
- [30] 钟民勇, 乔日发, 罗涛, 等. 基于指纹图谱定性、多指标成分定量与化学计量学的枳壳质量评价 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2022, 28(4): 138-145.
- [31] 赵紫薇, 彭芳, 张琨, 等. 基于 UPLC-Q-TOF-MS/MS 代谢组学技术筛选不同基原圆柏品种鉴别的化学标志物 [J]. 药学报, 2023, 58(7): 1880-1893.
- [32] 刘天睿, 金艳, 孟虎彪, 等. 论中药“辨状论质”之辨色泽与品质评价的生物学内涵研究 [J]. 中国中药杂志, 2020, 45(19): 4545-4554.

[责任编辑 时圣明]