

# 基于红外光谱结合化学计量学及 HPLC 色谱的 紫丹参及其近缘种成分差异

胡建勇<sup>1,2</sup>, 缪明锦<sup>1,2</sup>, 闻焜<sup>1,2</sup>, 徐立<sup>1,3\*</sup>, 段宝忠<sup>1\*</sup>

(1. 大理大学 药学与化学学院, 云南 大理 671000; 2. 大理州食品药品检验所, 云南 大理 671000;  
3. 大理大学 基础医学院, 云南 大理 671000)

**[摘要]** **目的:**探讨民族药紫丹参及其近缘种化学成分异同,为紫丹参药材鉴别和临床应用提供参考。**方法:**利用傅里叶红外光谱结合主成分分析(PCA),聚类分析(HCA)和偏最小二乘法判别分析(PLS-DA)方法对紫丹参及其近缘种成分的差异进行了研究,同时采用高效液相色谱法比较紫丹参及其近缘种的水溶性成分差异。**结果:**紫丹参与其近缘种的红外光谱和水溶性 HPLC 色谱在吸收峰的峰数、峰强、峰形方面均存在一定差异,尤其是其水溶性极性成分较其他品种更为丰富,表明紫丹参与其近缘种之间所含化学成分有相似之处,但亦存在明显的不同。从化学亲缘关系来看,紫丹参与其他同属药物较远,三叶鼠尾草、戟叶鼠尾草、甘西鼠尾草三者成分更为接近;红外光谱结合化学计量学方法 PCA, HCA 和 PLS-DA 分析显示,紫丹参与其他品种可明显分开。**结论:**该研究建立的红外光谱结合化学计量学模型,可用于紫丹参及其近缘种的快速鉴别;与其近缘种相比,紫丹参具有独特的化学成分群,具有深入开发的价值,为紫丹参及其混伪品的鉴别提供科学参考。

**[关键词]** 紫丹参; 近缘种; 红外光谱法; 高效液相色谱法; 化学计量学; 成分差异

**[中图分类号]** R284.1; R289; R22; R2-031 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2019)15-0008-07

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.20191519

**[网络出版地址]** <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.r.20190423.1223.003.html>

**[网络出版时间]** 2019-04-24 13:47

## Identification of *Salviae Yunnanensis Radix et Rhizoma* and Its Allied Species Based on Chemical Composition by FTIR with Chemometric Analysis and HPLC Fingerprint

HU Jian-yong<sup>1,2</sup>, MIAO Ming-jin<sup>1,2</sup>, WEN Kun<sup>1,2</sup>, XU Li<sup>1,3\*</sup>, DUAN Bao-zhong<sup>1\*</sup>

(1. *College of Pharmaceutical and Chemistry, Dali University, Dali 671000, China;*  
2. *Dali Institute for Food and Drug Control, Dali 671000, China;*  
3. *School of Basic Medical Sciences, Dali University, Dali 671000, China*)

**[Abstract]** **Objective:** To investigate the differences of chemical constituents of *Salviae Yunnanensis Radix et Rhizoma* and its closely related species, and to provide reference for the clinical application of *Salviae Yunnanensis Radix et Rhizoma*. **Method:** Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy combined with principal component analysis (PCA), cluster analysis (HCA) and partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) were used to study the differences of components between *Salviae Yunnanensis Radix et Rhizoma* and its closely related species, and high performance liquid chromatography (HPLC) was used to compare the differences of water-soluble components between them. **Result:** There were some differences between *Salviae Yunnanensis Radix*

**[收稿日期]** 20190313(025)

**[基金项目]** 云南省中青年学术技术带头人后备人才项目(2015HB058);大理大学-四川滇虹药业合作项目(CDDC2017087);大理大学博士科研启动项目(KYBS2018010);大理大学中药资源与民族药创新团队项目(ZKLX2019318)

**[第一作者]** 胡建勇,主管药师,从事中药资源与品质评价工作,Tel:0872-2165887,E-mail:76458318@qq.com

**[通信作者]** \*徐立,博士,副教授,从事药物资源品质及药效学研究工作,Tel:0872-2257401,E-mail:894753177@qq.com;

\*段宝忠,博士,副教授,从事中药资源与鉴定工作,Tel:0872-2257401,E-mail:bzduan@126.com

et Rhizoma and its closely related species according to FTIR spectroscopy and HPLC fingerprint, especially the water-soluble polar components were more abundant in *Salviae Yunnanensis Radix et Rhizoma* than other species. The chemical components of *Salvia trijuga*, *S. przewalskii* and *S. bulleyana* were more similar in terms of their genetic relationship. The result showed that the *Salviae Yunnanensis Radix et Rhizoma* and its closely related species can be clearly distinguished by FTIR combined with chemometrics method. **Conclusion:** Compared with its closely related species, *Salviae Yunnanensis Radix et Rhizoma* has a unique chemical composition, which has great therapeutic potential for blood stasis. The FTIR combined with chemometrics model can be used for rapid identification of *Salviae Yunnanensis Radix et Rhizoma* and its closely related species.

[**Key words**] *Salviae Yunnanensis Radix et Rhizoma*; closely related species; fourier transform infrared spectroscopy; high performance liquid; chemometrics; component difference

紫丹参,又名赤参、滇丹参,唇形科植物云南鼠尾草的干燥根,为《云南省中药材标准》2005 年版收载品种<sup>[1]</sup>。近年来,紫丹参资源日益稀缺,市场上出现了较多的混伪品,经文献和市场调研,除其他科药材红大戟容易混淆<sup>[2]</sup>,尚有多种鼠尾草属植物在民间充当紫丹参使用,主要涉及丹参、戟叶鼠尾草、三叶鼠尾草、甘西鼠尾草等多种<sup>[3]</sup>。已有学者采用性状、显微、HPLC 指纹图谱, DNA 条形码等方法对紫丹参及其近缘种进行了鉴别研究<sup>[4-6]</sup>,但由于紫丹参混伪品基原复杂,这些药材名称和外形相似,难以采用性状和显微等方法区分;其次, HPLC 指纹图谱需对成分进行提取, DNA 条形码亦需提取 DNA, 相对费时。紫丹参早在《滇南本草》就有入药记载:“一味可抵四物汤补血之功”<sup>[7]</sup>,成方制剂丹莪妇康煎膏、紫丹活血片等多个成药以其为君药<sup>[8-9]</sup>,同时被彝族、苗族、白族等多个少数民族作为常用药物使用,尤以用于治疗月经不调,经闭痛经等,疗效显著<sup>[10-11]</sup>;紫丹参在民间传统用法是用水煎剂,探讨其水溶性成分差异对研究紫丹参及其近缘种成分的相似性和阐明其药效具有一定的意义。传统中医及民间医药使用丹参、甘西鼠尾草等近缘植物,紫丹参与这些植物的化学成分差异等未见报道。红外光谱(FTIR)具有特征性强,取样量小,简便迅速,无损样品等优势,其可对药材中多个组分光谱进行叠加,具有客观性和可重复性的特点<sup>[12]</sup>,已广泛用于药材混伪品的鉴定和成分差异的研究,目前尚未见红外光谱结合化学计量学用于紫丹参及其近缘种的鉴定和组分差异的相关研究。本研究对紫丹参及其近缘种共 57 份样品的红外光谱进行了研究,结合多元统计分析方法,包括主成分分析(PCA),偏最小二乘法判别分析(PLS-DA)及聚类分析(HCA)对数据进行比较分析,同时采用 HPLC 方法比较了紫丹参及其近缘种的水溶性组分差异,以期对紫丹参与近缘种的

成分差异研究和鉴别提供科学参考。

## 1 材料

PE S100 型傅里叶变换红外光谱仪(美国珀金埃尔默股份有限公司),1100 型高效液相色谱仪(G1322A 型在线脱气机,G1311A 型四元梯度泵,G1313A 型进样器,G1316A 型柱温箱,G1314A 型 VWD 检测器和 Chem Station 色谱工作站,美国 Agilent 公司),GH-252 型电子天平(日本 AND 公司),MS205DM 型电子天平(梅特勒-托利多仪器上海有限公司),HW-3 型红外烘干箱(天津市光学仪器厂),HY-12 型压片机(天津天光光学仪器有限公司),FY135 型中草药粉碎机(天津泰斯特仪器有限公司),SB25-12D 型超声波清洗机(宁波新芝生物科技股份有限公司)。

光谱级溴化钾单晶粉末(天津天光光学仪器有限公司,批号 170421);对照品隐丹参酮(批号 110852-201807),丹参酮 I(批号 110867-201607),丹参酮 II<sub>A</sub>(批号 110766-201721)购于中国食品药品检定研究院,纯度均 > 98%。色谱级乙腈(默克股份两合公司,批号 20171031),磷酸(天津市科密欧化学试剂有限公司,批号 26571789),水为超纯水,其他试剂均为分析纯(国药集团化学试剂有限公司)。

样品采集或购于河南、山东、四川及云南等地,经大理大学段宝忠副教授和夏从龙教授鉴定分别为唇形科植物云南鼠尾草 *Salvia yunnanensis*,丹参 *S. miltiorrhiza*,戟叶鼠尾草 *S. bulleyana*,三叶鼠尾草 *S. trijuga*和甘西鼠尾草 *S. przewalskii* 的干燥根和根茎,共 5 个物种 57 份药材,样品凭证标本存放于大理大学中药标本馆,样品信息见表 1,药材形态见图 1。

## 2 方法

### 2.1 红外光谱鉴别

2.1.1 供试品的制备 取药材粉末 60 °C 下干燥至

表 1 紫丹参及近缘植物样品信息

Table 1 Information of of *Salviae Yunnanensis Radix et Rhizoma* and its allied species

编号	名称	拉丁名	产地
S1 ~ S6	丹参	<i>Salvia miltiorrhiza</i>	河南省南阳市
S7 ~ S11	丹参	<i>S. miltiorrhiza</i>	四川省中江市
S12 ~ S14	丹参	<i>S. miltiorrhiza</i>	山东省潍坊市
S15 ~ S17	丹参	<i>S. miltiorrhiza</i>	云南省文山州
S18 ~ S20	丹参	<i>S. miltiorrhiza</i>	云南省红河州
S21 ~ S22	甘西鼠尾草	<i>S. przewalskii</i>	甘肃省银川市
S23 ~ S26	戟叶鼠尾草	<i>S. bulleyana</i>	云南省大理市
S27 ~ S29	戟叶鼠尾草	<i>S. bulleyana</i>	不详
S30 ~ S34	三叶鼠尾草	<i>S. trijuga</i>	云南省大理市
S35 ~ S36	三叶鼠尾草	<i>S. trijuga</i>	不详
S37 ~ S48	紫丹参	<i>S. yunnanensis</i>	云南省大理市
S49 ~ S57	紫丹参	<i>S. yunnanensis</i>	不详



A. 紫丹参 *S. yunnanensis*; B. 丹参 *S. miltiorrhiza*; C. 甘西鼠尾草 *S. przewalskii*; D. 三叶鼠尾草 *S. trijuga*; E. 戟叶鼠尾草 *S. bulleyana*

图 1 紫丹参及其近缘种药材

Fig.1 Picture of *Salviae Yunnanensis Radix et Rhizoma* and its allied species

恒重,粉碎过 80 目筛,备用。取样品粉末 1 mg 至玛瑙研钵中,加入溴化钾粉末 200 mg 作为分散剂,研磨均匀,取适量细粉平铺于模具中,以 20 MPa 压力压制 1 min,取出,对光检视,以样品均匀,板透光为佳,作为供试品。

**2.1.2 红外光谱条件** 光谱扫描范围 4 000 ~ 400  $\text{cm}^{-1}$ ,扫描 32 次,分辨率 4  $\text{cm}^{-1}$ ,扫描实时扣除  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$  的背景。

**2.1.3 数据处理** 光谱数据通过软件 Spectrum

10.02 进行坐标归一化、基线校正、自动平滑等处理,保存 CSV 格式数据;利用 OriginLab OriginPro 8.5 软件计算二阶导数,绘制曲线;主成分 (PCA) 和偏最小二乘判别 (PLS-DA) 分析采用 SIMCA 13.0 软件;聚类分析 (HCA) 采用 SPSS 20.0 软件。

**2.2 高效液相色谱法** 供试品制备、色谱条件等参照本课题组已发表文献中的方法<sup>[8]</sup>。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 紫丹参及近缘种红外光谱分析

**3.1.1 精密度试验** 取同一批供试品 (S50),按 2.1 项下方法,连续重复扫描 5 次,所得红外图谱的相关系数在 0.999 8 ~ 0.999 9, RSD 0.004%,表明精密度良好。

**3.1.2 稳定性试验** 取同一供试品 (S50),按 2.1 项下方法进行测定,每隔 1 h 扫描 1 次,共扫描 5 次,所得红外图谱的相关系数在 0.999 8 ~ 0.999 9, RSD 0.008%,表明样品在 5 h 内稳定。

**3.1.3 重复性试验** 以 S50 号紫丹参样品为考察对象,按 2.1 项下方法分别压片 5 次,所得红外图谱的相关系数在 0.998 7 ~ 0.999 7, RSD 0.04%,表明重复性良好。

**3.1.4 红外光谱对比分析** 紫丹参及其近缘种的平均红外光谱见图 2。从图中可看出,紫丹参及其近缘种的峰位、峰形、强度在 1 700 ~ 400  $\text{cm}^{-1}$  极为相似,肖培根等“药用植物亲缘学说”认为亲缘相近的物种其成分及疗效往往具有很大的相似性<sup>[13]</sup>,本研究所采用的药材均为鼠尾草属植物,因此,从图谱轮廓来看差异并不明显。从几种植物的平均 IR 光谱来看,光谱中 1 700 ~ 1 570  $\text{cm}^{-1}$  为次强吸收,主要为水的 O-H 弯曲振动,植物中有机酸盐的 COO- 不对称伸缩振动,以及芳香烃的苯环伸缩振; 1 430 ~ 1 250  $\text{cm}^{-1}$  主要为饱和脂肪酸酯类物质的 C-O-C 吸收区<sup>[14]</sup>; 1 080 ~ 1 010  $\text{cm}^{-1}$  为最强吸收,主要为糖类 C-O 伸缩振动的特征吸收<sup>[15]</sup>,上述特征峰与鼠尾草属植物中水苏糖、丹参酮类、酚酸类等物质的结构吻合。

**3.1.5 紫丹参及其近缘种二阶导数图谱分析** 鉴于红外光谱二阶导数可提供比原始光谱更高的分辨率和更清晰的光谱轮廓变化<sup>[16]</sup>,同时可消除基线漂移或平缓背景干扰的影响。本研究在重叠光谱基础上,对红外光谱数据进行二阶导数处理,结果见图 3。从图 3 可看出,在 1 020 ~ 920  $\text{cm}^{-1}$ ,三叶鼠尾草有 5 个吸收峰,其余物种均只有 4 个吸收峰。其中丹参的 2 号峰为肩峰,且 1,3 号峰均为最强;而甘西

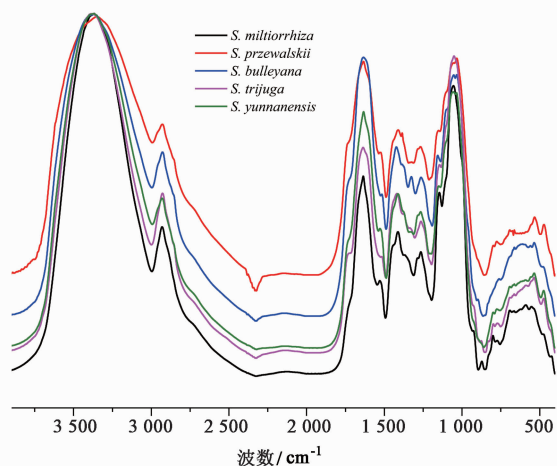


图 2 紫丹参及其近缘种的平均红外光谱  
Fig. 2 Average infrared spectra of *Salvia yunnanensis* and its allied species

鼠尾草 4 号峰最强,戟叶鼠尾草及紫丹参则为的 3 号峰最强。在  $530 \sim 430 \text{ cm}^{-1}$ , 峰的数量上呈现较大的差异,丹参、甘西鼠尾草、戟叶鼠尾草、三叶鼠尾草及紫丹参分别出现 8, 10, 9, 7, 5 个吸收峰。因此,根据紫丹参及其近缘种在  $1020 \sim 920 \text{ cm}^{-1}$  和  $530 \sim 430 \text{ cm}^{-1}$  中峰形、出峰位置和相对峰强度的不同,可有效将紫丹参及其近缘种有效进行鉴别。

**3.1.6 聚类分析** 将 57 批样品原始谱图进行二阶求导预处理,得数据矩阵。使用 Ward's 方法和欧氏距离进行聚类分析(HCA),结果见图 4。结果显示,在距离系数为 25 时,57 批紫丹参及其混伪品被聚两大类,其中丹参被单独聚为一支(I),其他 4 个物种被聚为一支(II),表明丹参与其他鼠尾草属植物化学亲缘关系较远。在距离系数为 10 时,类别 II 中的 4 个鼠尾草属植物被分为两类,其中紫丹参单独聚为一支,三叶鼠尾草、甘西鼠尾草和戟叶鼠尾草聚为一支,但 3 个物种仍单独成支,可有效区分。上述结果表明较 3 个物种亲缘关系相比,紫丹参化学亲缘较三叶鼠尾草、甘西鼠尾草和戟叶鼠尾草间亲缘关系更远。

**3.1.7 PCA** PCA 是将多维具有相关性的数据压缩为少数几个相互独立数据的统计方法,其在不损失主要信息的前提下实现降维,扩大样本之间的差异,可解决由于中药成分复杂所致的谱带重叠分析困难<sup>[17]</sup>。将 57 批紫丹参及其近缘种药材红外光谱经自动基线校正 + 自动平滑 + 纵坐标归一化 + 二阶求导预处理后的数据,导入 SIMCA 13.0 软件进行 PCA,从 PCA 得分图,可看出丹参样品可单独聚为一类;紫丹参、戟叶鼠尾草及三叶鼠尾草、甘西鼠尾

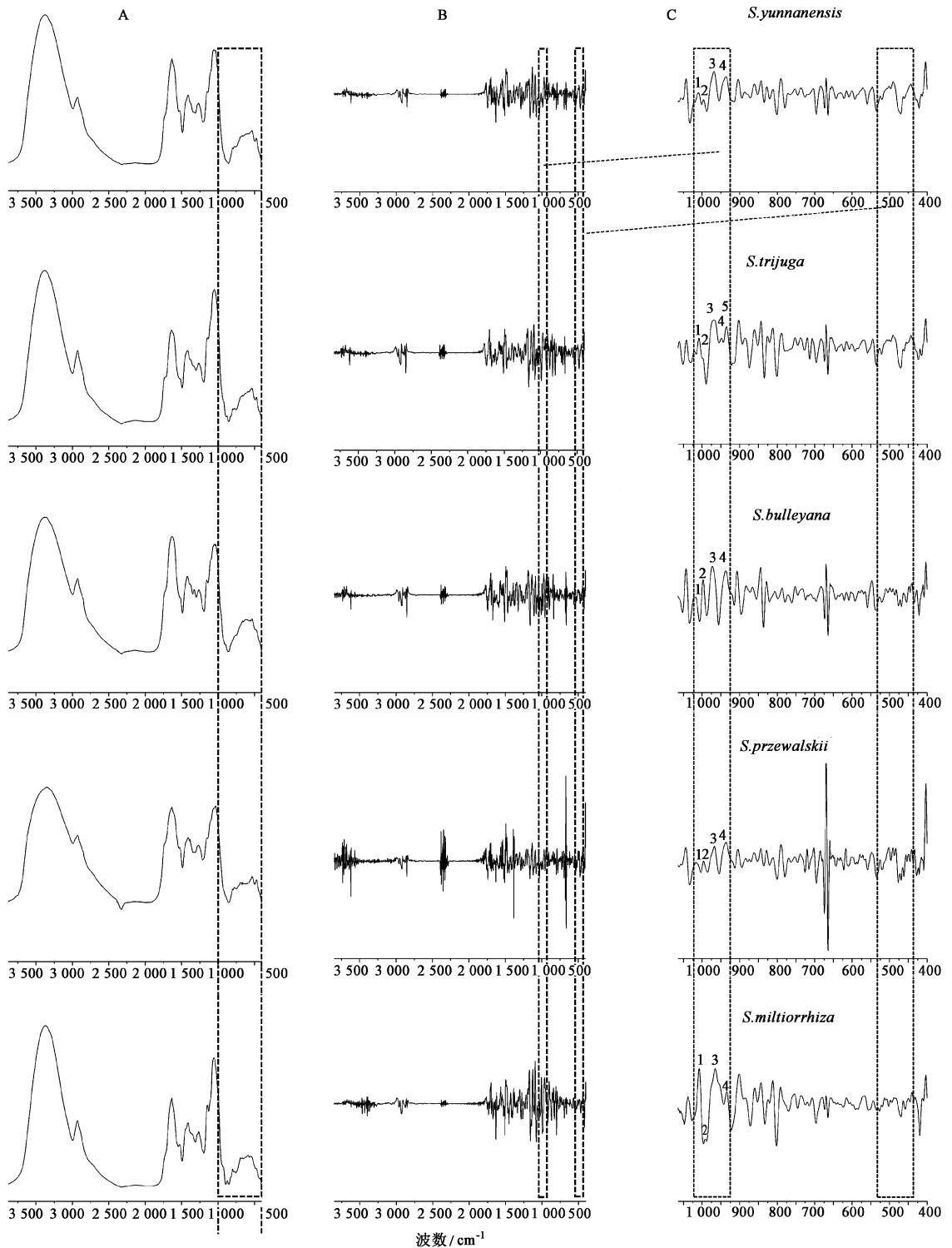
草四者则相互交叉。见图 5。

**3.1.8 PLS-DA** PLS-DA 综合了多元线性回归和主成分回归的优势,能够剔除不相关或非线性变量,是一种有监督模式识别的分析方法<sup>[18]</sup>。57 批药材红外光谱经预处理后,所得矩阵的数据导入 SIMCA13.0 软件进行 PLS-DA 分析。由结果可知,紫丹参和丹参各自聚为一簇,可明显分开,三叶鼠尾草聚类虽较为离散,但最终归为一类;与其他物种亦可明显分开,甘西鼠尾草和戟叶鼠尾草二者则相互有交叉,表明偏最小二乘判别分析能够有效区分除甘西鼠尾草和戟叶鼠尾草外的 3 个物种。见图 6。

**3.2 紫丹参及其近缘种的 HPLC 指纹分析** 为验证紫丹参及其近缘种化学成分的差异,采用 HPLC 对紫丹参及其近缘种的水溶性成分进行了比较,从 HPLC 图来看,5 种鼠尾草属植物中的成分主要分为 2 段,结果见图 7 中 I ( $2 \sim 12 \text{ min}$ ), II ( $24 \sim 42 \text{ min}$ )。其中极性较大的 I 段成分以紫丹参最为丰富,可与其他 4 个近缘物种明显区分。II 段成分中,5 个物种中,以甘西鼠尾草、戟叶鼠尾草和三叶鼠尾草色谱峰最多,3 个近缘种较紫丹参和丹参的成分丰富,色谱信息丰富程度为甘西鼠尾草 > 戟叶鼠尾草 > 三叶鼠尾草 > 紫丹参 > 丹参;通过对照品保留时间指认了其中 3 个色谱峰,分别为隐丹参酮、丹参酮 I 及丹参酮 II<sub>A</sub>;上述 HPLC 色谱指纹的结果与红外色谱指纹 HCA, PCA 和 PLS-DA 分析结果基本一致。

#### 4 小结

本研究采用红外光谱结合化学计量学方法对民族药紫丹参及其近缘种的化学成分差异进行了研究,并采用 HPLC 对其水溶性成分进行了比较,同时通过对照品指认了其中 3 个色谱峰。研究结果表明,紫丹参与其近缘种红外光谱和水溶性 HPLC 色谱均存在一定差异,尤其是紫丹参水溶性极性成分更为丰富,从成分亲缘关系来看,三叶鼠尾草、戟叶鼠尾草、甘西鼠尾草三者成分更为接近。红外光谱结合化学计量学方法 PCA, HCA 和 PLS-DA 分析显示,紫丹参与其他物种能明显分开,表明所建立的红外光谱结合化学计量学模型,可用于紫丹参及其近缘种的快速鉴别。鉴于传统的性状、显微和理化鉴定方法,主要依据形态特征或单一指标成分进行鉴别,这些方法存在主观性强或专属性不强,特别是对于同属药材间的鉴别较为困难,且对鉴定者的专业水平要求高。随着当前传统鉴定专业人才的匮乏,药材外观相似或同物异名对市场药材监管部门提出



A. 紫丹参及其近缘种的平均红外光谱; B. 紫丹参及其近缘种的平均红外二阶导数; C. 紫丹参及其近缘种的平均红外二阶导数局部放大  
图 3 紫丹参及其近缘种的二阶导数

Fig. 3 Diagram of second derivative of *Salvia yunnanensis* and its allied species

了挑战<sup>[19]</sup>。相比上述方法,红外光谱具有较强的散射效应和穿透能力,为多组分特征信息监测,可直接测量多种形态的样品,特别对于固态样品仅需研磨等简单预处理,可实现无损检测;而化学计量学方法

可对样品多组分进行多元特征信息提取和分析,软件对应用人员要求不高,易培训和推广<sup>[20]</sup>,二者结合建立的方法和校正模型,受外界因素影响较小,有较好的重复性和客观性,为紫丹参及其混伪品的

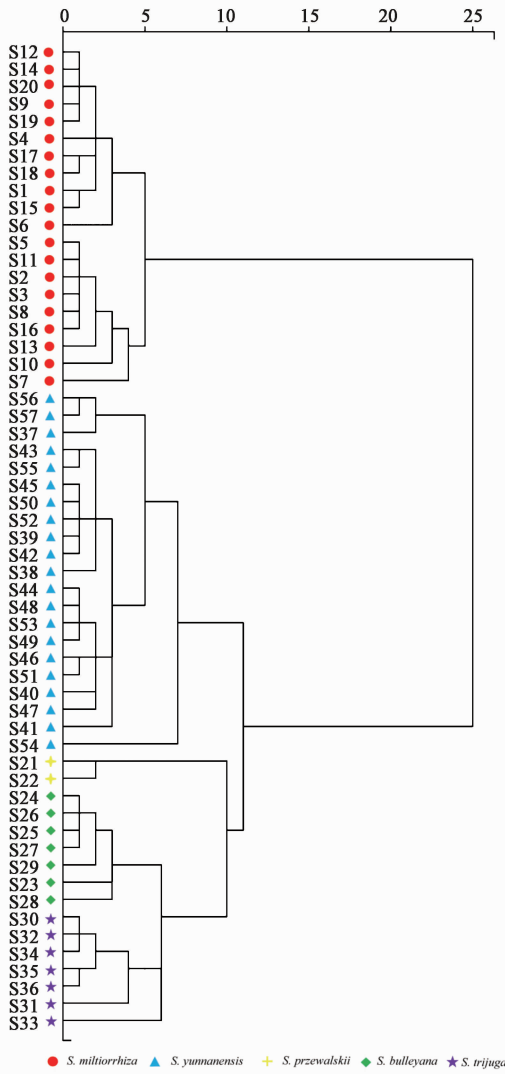


图 4 紫丹参及其近缘种的 HCA

Fig. 4 Dendrogram for HCA of *Salvia yunnanensis* and its allied species

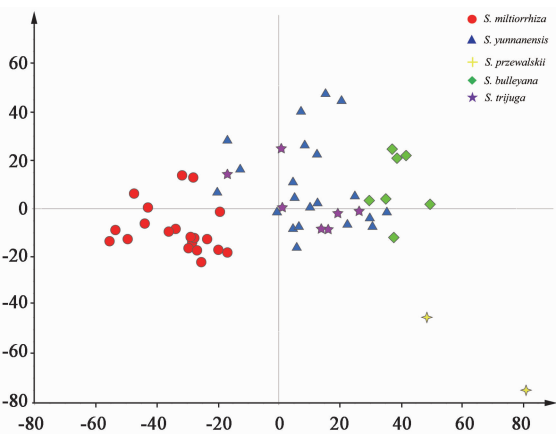


图 5 紫丹参及其近缘种的 PCA

Fig. 5 Scores plot of PCA of *Salvia yunnanensis* and its allied species

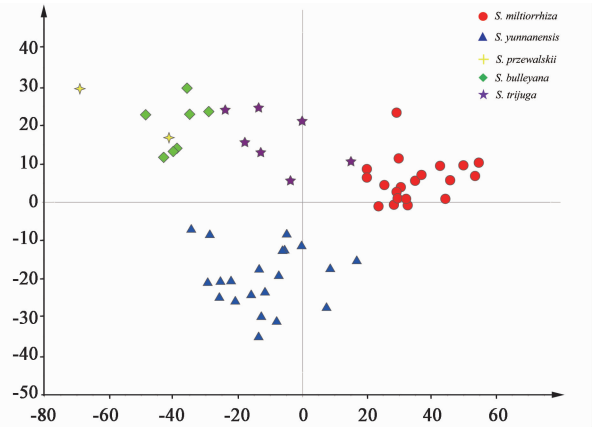
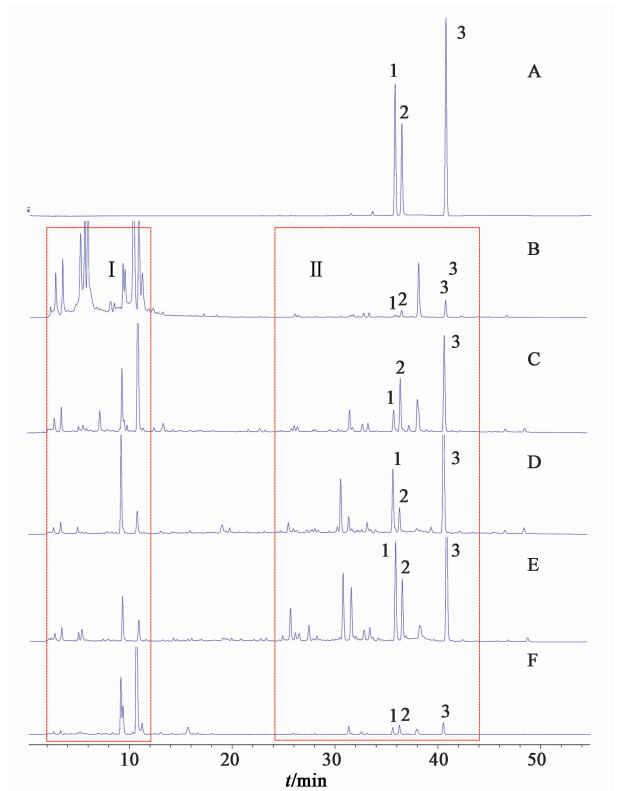


图 6 紫丹参及其近缘种的 PLS-DA

Fig. 6 Scores plot of PLS-DA of *Salvia yunnanensis* and its allied species



A. 对照品图谱; B. 紫丹参; C. 三叶鼠尾草; D. 戟叶鼠尾草; E. 甘西鼠尾草; F. 丹参; 1. 隐丹参酮; 2. 丹参酮 I; 3. 丹参酮 II<sub>A</sub>

图 7 紫丹参及其近缘种的 HPLC

Fig. 7 HPLC of *Salvia yunnanensis* and its allied species

鉴别提供了科学参考。从红外光谱和水溶性 HPLC 指纹色谱来看,与其近缘种相比,紫丹参具有独特的化学成分群,具有深入开发的价值。本研究中,紫丹参与丹参的红外光谱和水溶性成分 HPLC 指纹谱的差异亦较明显。已有研究表明,紫丹参和丹参脂溶性成分存在较大的差异<sup>[21]</sup>,且紫丹参体内、体外抑制血小板聚集作用明显优于丹参<sup>[22]</sup>。鉴于紫丹参

在血瘀疾患方面具有较好的民间临床应用经验和基础<sup>[23]</sup>, 以及其独特的化学成分群, 应进一步加强紫丹参的物质基础、药效、作用机制等相关研究, 推进紫丹参在血瘀领域的资源利用和产品开发。

[参考文献]

[1] 云南省食品药品监督管理局. 云南省中药材标准. 第 1 册 [M]. 2005 年版. 昆明: 云南美术出版社, 2006:45.

[2] 毕飞霞, 段吉平, 孙宝惠. 红大戟与混淆品紫丹参的比较鉴别[J]. 中药材, 2004, 27(10):721-723.

[3] 谢宗万. 中药品种理论与应用[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008:202-207.

[4] 文凤娟, 龚廷铎, 赖清玉, 等. 基于 ITS 条形码的云南丹参及其近缘种鉴定研究[J]. 西南林业大学学报: 自然科学, 2018, 38(4):29-36.

[5] 何广新, 李忠琼. 丹参和紫丹参的比较鉴别[J]. 中药材, 1996, 19(7):342-343.

[6] 段宝忠, 李巍, 邓海星, 等. 基于 DNA 条形码技术的民族药紫丹参及其近缘种鉴定研究[J]. 中草药, 2019, 50(5):1204-1211.

[7] 兰茂. 滇南本草. 第二卷[M]. 昆明: 云南人民出版社, 1977:351-353.

[8] 国家药品监督管理局. 国家中成药标准汇编外科妇科分册[M]. 北京: 国家药品监督管理局, 2002.

[9] 国家药品监督管理局. 国家中成药标准汇编内科心系分册[M]. 北京: 国家药品监督管理局, 2002:472.

[10] 朱兆云, 韦群辉. 云南民族药志[M]. 昆明: 云南省药品检验所, 1980:368.

[11] 王正坤, 周明康. 袁牢本草[M]. 太原: 山西科学技术出版社, 1991:110.

[12] 陈亚, 江滨, 曾元儿. 红外光谱在中药鉴别中的应用

[J]. 广州中医药大学学报, 2004, 21(3):237-240.

[13] 陈四保, 彭勇, 陈士林, 等. 药用植物亲缘学[J]. 世界科学技术, 2005, 7(6):97-103.

[14] 史国玉, 郭庆梅, 康玉秋, 等. 丹参不同部位的红外光谱法分析[J]. 光散射学报, 2012, 24(4):412-418.

[15] 吴婧. 丹参白芍的红外光谱研究[D]. 北京: 清华大学, 2008.

[16] 张海燕, 霍金海, 董文婷, 等. 不同产地北青龙衣的红外光谱鉴定分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(4):57-60.

[17] Abdi H W L J. Principal component analysis [J]. Computation Stat, 2010, 4(2):433-459.

[18] Bassbasi M L M D I. Prediction of the geographical origin of butters by partial least square discriminant analysis (PLS-DA) applied to infrared spectroscopy (FTIR) data [J]. J Food Compos Anal, 2014, 33(2):210-215.

[19] 罗丹丹, 方海兰, 李杨, 等. 基于 DNA 条形码技术的防风药材市场调查研究[J]. 大理学院学报, 2018, 3(2):22-26.

[20] 姚婉清, 彭梦侠, 刘婷. 近红外光谱结合化学计量学方法在化学分析中的应用[J]. 嘉应学院学报, 2018, 36(5):17-27.

[21] 张立国, 胡甜甜, 张芳芳, 等. 丹参和紫丹参脂溶性成分的 UPLC 及 LC-MS/MS 分析[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(6):1208-1215.

[22] 李惠兰, 闫彩珍, 张荣平, 等. 滇丹参注射液对兔血小板功能的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2002, 14(1):70-73.

[23] 段宝忠, 李巍, 邓海星, 等. 民族药滇丹参的本草考证[J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(13):80-86.

[责任编辑 顾雪竹]